

CALIDAD DEL AGUA EN AIRÓN, CHIMBORAZO, ECUADOR: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO PARA CONSUMO HUMANO, EVALUACIÓN DE IMPACTO EN SALUD PÚBLICA

Physico-chemical and microbiological analysis were conducted to confidently assess the impact of water quality on human consumption and public health in Airon, Chimborazo, Ecuador.

Mishell Carolina Moreno Samaniego ⁽¹⁾ *
mishell.moreno@esPOCH.edu.ec

Sandra Isabel Sagñay Lema ⁽²⁾
sandylema_28@live.com

⁽¹⁾ Carrera de Bioquímica y Farmacia. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 060101, Ecuador.

⁽²⁾ Investigador Independiente, Riobamba, 060101, Ecuador.

Autor de correspondencia:

Correo electrónico: mishell.moreno@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

Este artículo tuvo como objetivo principal evaluar la calidad del agua en la comunidad durante el periodo de octubre a diciembre de 2022. Para lograrlo, se llevó a cabo una caracterización física, química y microbiológica del recurso hídrico en cuatro puntos de muestreo estratégicos. Se realizaron diversas pruebas y análisis, incluyendo la medición de pH, conductividad, sólidos totales, color aparente y turbidez, así como la determinación de varios parámetros químicos como nitratos, nitritos, sulfatos, calcio y magnesio, entre otros.

También se realizó un antibiograma para evaluar la resistencia bacteriana a diferentes antibióticos. Los resultados obtenidos mostraron que la mayoría de los parámetros físicos y químicos del agua se encontraban dentro de los límites establecidos por las normas de agua potable, indicando que el recurso hídrico era apto para el consumo humano en la comunidad. Sin embargo, se identificaron niveles elevados de turbidez, fosfatos y hierro en algunas muestras, sugiriendo la posible presencia de contaminantes y resaltando la necesidad de una vigilancia continua.

En cuanto a la caracterización microbiológica, se aislaron e identificaron diferentes especies bacterianas, destacando la presencia de *Escherichia coli* y *Salmonella paratyphi A*, lo que plantea preocupaciones sobre la seguridad del agua y la posible presencia de patógenos. En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio resaltan la importancia de mantener un control constante de la calidad del agua en la comunidad, especialmente en aspectos como turbidez, fosfatos y hierro, para garantizar un suministro seguro y saludable.

Palabras claves: calidad del agua, análisis microbiológico, bacterias coliformes, contaminación del agua, *Escherichia coli*.

ABSTRACT

This article aimed to assess the water quality within the community during the period from October to December 2022. To achieve this, physical, chemical, and microbiological analysis of water resources was conducted at four strategic sampling points. Various tests and analyses were conducted, including the measuring of pH, conductivity, total solids, apparent color, and turbidity, as well as the determination of various chemical parameters such as nitrates, nitrites, sulfates, calcium, and magnesium, among others.

Additionally, an antibiogram was conducted to assess bacterial resistance to different antibiotics. The results obtained showed that most of the physical and chemical parameters of the water were within the limits established by drinking water standards, indicating that the water resource was suitable for human consumption in the community. However, elevated levels of turbidity, phosphates, and iron were identified in some samples, suggesting the possible presence of contaminants, and emphasizing the need for continuous monitoring.

Regarding microbiological characterization, different bacterial species were isolated and identified, with a notable presence of *Escherichia coli* and *Salmonella paratyphi A*, raising concerns about water safety and the potential presence of pathogens. In conclusion, the results of this study underscore the importance of maintaining constant control over water quality in the community, especially concerning aspects like turbidity, phosphates, and iron, to ensure a safe and healthy water supply.

Keywords: water quality, microbiological analysis, coliform bacteria, water contamination, *escherichia coli*.

1. Introducción

El acceso a agua segura y potable constituye un derecho humano fundamental y un pilar para el desarrollo sostenible de las comunidades ¹. Sin embargo, la contaminación del agua y la escasez de recursos hídricos adecuados continúan siendo desafíos significativos en numerosas partes del mundo ². Ecuador, como país en desarrollo, no escapa a esta problemática, con solo un 39% de la población teniendo acceso a agua limpia, dejando a miles de personas en situaciones precarias y expuestas a riesgos para la salud ³.

La comunidad de Airón, ubicada en el cantón Chambo de la provincia de Chimborazo, enfrenta una amenaza constante en cuanto a la calidad del agua destinada al consumo humano. Los problemas de salud asociados con el consumo de agua contaminada han sido objeto de extensos estudios, y los indicadores locales de desarrollo revelan un déficit en términos de infraestructura para proveer agua de calidad a un mayor número de habitantes.

Ante esta preocupante realidad, este artículo se enmarca en una investigación exhaustiva que aborda el análisis físico-químico y microbiológico del agua en la comunidad de Airón. El objetivo principal de este estudio fue evaluar la calidad del recurso hídrico disponible para el consumo humano y determinar su cumplimiento con los parámetros establecidos por las normativas nacionales vigentes ⁴.

La metodología empleada en esta investigación se basó en un enfoque cualitativo-cuantitativo mediante un diseño experimental que facilitó la recolección de muestras de agua representativas en puntos específicos de muestreo dentro de la comunidad. Estas muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Investigación en Aguas y Microbiología de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, siguiendo normas técnicas establecidas para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados.

Los hallazgos obtenidos a partir de esta investigación son esenciales para comprender la situación actual del recurso hídrico en la comunidad de Airón, así como para identificar posibles amenazas a la salud pública debido a la presencia de contaminantes. La divulgación de estos resultados es crucial para sensibilizar a las autoridades, organizaciones locales ⁵ y la sociedad en general acerca de la importancia de

abordar este desafío y buscar soluciones efectivas y sostenibles para mejorar la calidad del agua en la comunidad ⁶.

Con esta investigación, se aspira a contribuir al conocimiento científico en el área de calidad del agua para consumo humano y proporcionar una base sólida para el diseño de estrategias de intervención y políticas públicas que fomenten el acceso universal a agua potable. En última instancia, este esfuerzo busca contribuir al bienestar y desarrollo integral de la comunidad de Airón y de otras comunidades que enfrentan situaciones similares.

En las siguientes secciones, se detallarán los métodos empleados, los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas del análisis realizado, con el propósito de ofrecer una visión completa y objetiva del estado actual del recurso hídrico y sus implicaciones para la salud pública en la comunidad Airón.

2. Metodología

Población y selección de muestras

La población de estudio corresponde a las muestras de agua que fueron recolectadas en 7 puntos de muestreo de la comunidad de Airón, cantón Chambo en la provincia de Chimborazo ubicado en la región interandina del Ecuador. Se analizó 2 ojos de agua, captación donde se unen las 3 vertientes, un tanque de reservorio y 3 domicilios. Los criterios consideraron aspectos geográficos y funcionales, asegurando una variabilidad que capturará las distintas fuentes de agua destinadas al consumo humano en la región. La selección de estas muestras se basó en su relevancia para evaluar la calidad del recurso hídrico en el periodo octubre-diciembre de 2022.

Método de selección de muestras

El método de selección de muestras se llevó a cabo mediante un enfoque estratégico que consideró la diversidad y representatividad de las fuentes de agua en la comunidad de Airón, cantón Chambo, Provincia de Chimborazo. Esta elección se basó en criterios geográficos y funcionales para garantizar una muestra que reflejara la heterogeneidad de las fuentes de agua en la región. La recolección de datos se realizó durante el periodo octubre-diciembre de 2022, abordando así diferentes condiciones climáticas y de uso del agua. Este método de selección aseguró una evaluación

integral de la calidad del recurso hídrico en la comunidad de Airón.

Tipo de muestreo

Se llevó a cabo un muestreo por conveniencia en el desarrollo de esta investigación. Este enfoque de muestreo se basó en la disponibilidad y accesibilidad de las muestras, seleccionando aquellas que estuvieran fácilmente accesibles o disponibles en el contexto específico de la comunidad de Airón. La elección de este método se fundamentó en la practicidad y viabilidad de obtener muestras representativas del agua destinada al consumo humano en la mencionada comunidad, permitiendo así la ejecución eficiente de las evaluaciones físicas, químicas y microbiológicas necesarias para el estudio ⁷.

Periodicidad de muestreo

Las muestras se recolectaron cada 15 días para capturar las posibles variaciones en la calidad del agua a lo largo del tiempo. Se consideró que este intervalo de tiempo proporcionaría una visión general de las condiciones del agua en la comunidad Airón, permitiendo observar posibles tendencias o fluctuaciones en los indicadores de calidad.

Consideraciones climáticas

En el proceso de muestreo, se prestó especial atención a las condiciones climáticas en las que se tomó cada muestra ⁸. Se realizó la primera toma de muestra en un día soleado, mientras que la última toma se llevó a cabo en un día de lluvia. La inclusión de días lluviosos en la recolección de muestras es de suma importancia, ya que las precipitaciones pueden influir significativamente en la calidad del agua, arrastrando sedimentos y contaminantes de diversas fuentes hacia las fuentes de agua ².

Justificación de la inclusión de días lluviosos

La evaluación de la calidad del agua en días de lluvia resulta relevante debido a que las condiciones climáticas pueden tener un impacto sustancial en la concentración y movilización de contaminantes en el agua ⁶. El aumento del flujo de agua durante los eventos de lluvia puede desencadenar la liberación de elementos disueltos y partículas suspendidas en el entorno acuático, lo que podría afectar la potabilidad del agua y sus propiedades físico-químicas ⁹. Por lo tanto, considerar días de lluvia en el muestreo proporciona una visión más completa

de los posibles riesgos asociados con el consumo de agua en diferentes condiciones climáticas ³.

Manejo de datos perdidos

En la gestión de datos perdidos, se implementó una estrategia metódica para asegurar la integridad de los resultados. Se identificaron y documentaron exhaustivamente todas las instancias de datos ausentes, detallando las variables afectadas y las circunstancias asociadas. Analizamos patrones de datos perdidos para comprender cualquier tendencia sistemática. En la imputación de datos, se seleccionaron estrategias que minimizaran la distorsión potencial de la información, priorizando métodos que respetaran la estructura y variabilidad observada en los datos disponibles. Cada imputación se documentó transparentemente, permitiendo una revisión crítica. Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar la robustez de los resultados frente a decisiones relacionadas con datos perdidos. Presentamos los resultados con y sin imputación, ofreciendo una visión completa y transparente de cómo las decisiones sobre datos perdidos podrían influir en las conclusiones del estudio.

Métodos estadísticos

Además, se emplearon métodos estadísticos específicos para el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, asegurando una evaluación exhaustiva de la información recopilada. Este enfoque metódico en los métodos estadísticos fortaleció la interpretación de los resultados, permitiendo una comprensión más profunda de las relaciones y patrones presentes en el estudio.

Caracterización física del agua

Para la caracterización física del agua, se utilizó un multiparámetro para medir pH, conductividad y sólidos totales disueltos ¹⁰. El pH-metro fue calibrado, la muestra homogeneizada en un vaso de vidrio limpio, y los electrodos sumergidos para registrar lecturas estabilizadas. Además, se empleó un equipo HACH DR 2800 para medir el color aparente y un turbidímetro para evaluar la turbidez ¹¹. Estas mediciones proporcionaron información crucial sobre la calidad física del agua, incluyendo pH, conductividad, sólidos totales, color aparente y turbidez.

Caracterización química del agua

La caracterización química abarcó diversas determinaciones. La medición de hierro se

realizó con el equipo HACH, utilizando un reactivo específico y un blanco como referencia. Para el fluoruro, se empleó el mismo equipo, preparando un blanco con agua destilada y mezclando la muestra con un reactivo específico¹². La evaluación de sulfatos se llevó a cabo mediante el equipo HACH, preparando un blanco y mezclando la muestra con un reactivo específico¹³. Asimismo, nitratos, nitritos y cloro residual se midieron con el equipo HACH, utilizando reactivos adecuados y preparando blancos en ambos casos. La dureza, alcalinidad, calcio, magnesio y amonio se determinaron mediante titulaciones, utilizando un fotómetro HACH DR 2800 a 520 nm para obtener los valores correspondientes¹⁴. Estas determinaciones brindaron información precisa sobre la presencia y concentración de elementos y compuestos químicos en el agua, esenciales para evaluar su calidad y aptitud para el consumo humano.

Caracterización microbiológica del agua

NMP: En cuanto al Número Más Probable (NMP), se llevaron a cabo 10 diluciones seriadas de la muestra de agua en tubos de ensayo que contenían medios de cultivo específicos para coliformes. Estos tubos fueron incubados a una temperatura de 37°C durante un periodo de 24 horas. Después de la incubación, se evaluaron los resultados para determinar el número más probable de coliformes fecales y totales presentes en la muestra, utilizando una tabla estadística que ofrece una estimación confiable de la concentración de estos microorganismos en el agua¹⁵.

Filtración de Membrana: Por otro lado, se empleó la técnica de Filtración por Membrana para concentrar y detectar coliformes fecales y totales en la muestra. Se filtró una porción líquida de agua a través de una membrana porosa de 0.45mm que capturó las bacterias presentes. Posteriormente, se transfirió la membrana a placas de Petri que contenían medios de cultivo selectivos para coliformes y se incubaron a la temperatura

Tabla 1: Estimación de la concentración de microorganismos

Muestra	Dilución	UFC/100 mL	Límite Mínimo (UFC/100 mL)	Límite Máximo (UFC/100 mL)
Muestra 1	10 ⁻¹	120	30	150
Muestra 2	10 ⁻²	75	20	100
Muestra 3	10 ⁻³	50	15	80

Nota: Los límites mínimo y máximo se establecieron de acuerdo con las normativas aplicables.

Antibiograma y pruebas bioquímicas

El antibiograma consistió en aislar y purificar bacterias a partir de las muestras de agua recolectadas en la comunidad Airón, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, Ecuador. Tras la obtención de cepas bacterianas puras mediante siembras en diversos medios de cultivo, se procedió a realizar la identificación de las especies bacterianas a través de la técnica de tinción Gram. Esta técnica permitió determinar la naturaleza de las bacterias como Gram positivas o Gram negativas, y se observó su morfología bajo el microscopio. Con base en los resultados obtenidos, se identificaron diversas especies bacterianas, incluyendo *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella paratyphi A*.

Para la identificación de la bacteria mediante pruebas bioquímicas, se llevaron a cabo diversas pruebas utilizando la técnica de siembra en pico de flauta. En la primera etapa, se realizó la siembra en tubo inclinado como procedimiento inicial para la preparación de las muestras. En la segunda etapa, se llevaron a cabo las siguientes pruebas bioquímicas: fermentación TS I (hierro Triple Azúcar), LIA (Lysine Iron Agar), Citrato de Simmons, Urea y Manitol salado. Estas pruebas permitieron evaluar distintos aspectos del metabolismo de la bacteria y proporcionar información útil para su identificación. Posteriormente, en la tercera etapa, se realizó la prueba de SIM (Sulfide Indole Motility) para analizar la movilidad, producción de indol y ácido sulfhídrico. En la cuarta etapa, se llevó a cabo la prueba de Catalasa para determinar la presencia de la enzima catalase. Finalmente, en la quinta etapa, se realizó la prueba de Oxidasa para evaluar la actividad de la enzima oxidasa.

Cada una de estas pruebas se efectuó mediante la técnica de siembra en pico de flauta, proporcionando resultados que permitieron identificar la bacteria de interés. Estas técnicas bioquímicas son ampliamente utilizadas en laboratorios microbiológicos para la identificación precisa de diferentes especies bacterianas.

3. Resultados

Puntos de muestreo

- Vertiente Alta (VA): Lugar de muestreo en la parte alta de la vertiente.
- Vertiente Baja (VB): Lugar de muestreo en la parte baja de la vertiente.

- Captación - Unión 3 Vertientes (CU3V): Punto de muestreo en la captación donde convergen tres vertientes.
- Domicilio (D): Punto de muestreo en zonas residenciales.

Caracterización física del agua

Tabla 2: Caracterización de los parámetros físicos

Lugar de muestreo	Promedio de las determinaciones: parámetros físicos			
	Color (15 Pt-Co)	Turbiedad (5 UNT)	STD (1000 mg/L)	Conductividad (1500 µS/cm)
Vertiente alta	10	0.61	92.46	152.2
Vertiente Baja	16.3	15.28	88.85	162.9
Captación (unión de 3 vertientes)	6	0.20	172.0	159.9
Domicilio	4	0.15	100.1	164.8

Nota: Los límites mínimo y máximo se establecieron de acuerdo con las normativas aplicables.

De acuerdo a la Tabla 2, la caracterización física del agua indica que, en términos del parámetro de color, la mayoría de las muestras se encuentran dentro del límite máximo permitido (15 Pt-Co), con la excepción de una muestra que supera dicho límite. Además, al examinar la turbidez, se observa que la mayoría de las muestras (3 de 4) cumplen con el límite máximo permitido (5 UNT), mientras que una muestra presenta un valor superior al límite establecido (15.28 UNT). Es crucial destacar que no solo la turbidez sino también el parámetro de color, revelan desviaciones en algunas muestras, señalando la posible existencia de partículas coloidales y sustancias en suspensión en el agua, como materia orgánica e inorgánica, microorganismos y plancton. Esta presencia de turbidez y color podría afectar estéticamente el agua y reducir la eficiencia de desinfección, ya que

se requerirían mayores cantidades de cloro para combatir la contaminación bacteriana.

Por otro lado, es alentador observar que los parámetros de sólidos totales disueltos y conductividad cumplen con los límites máximos permitidos (1000 mg/L y 1500 µS/cm, respectivamente) en todas las muestras analizadas. Es importante destacar que los sólidos totales disueltos miden la cantidad de materia en el agua que tiene un tamaño menor a 2 micras y no se puede eliminar con un filtro estándar.

Estos resultados proporcionan una evaluación crítica de la calidad física del agua en la comunidad Airón, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, Ecuador. Se subraya la necesidad urgente de tomar medidas correctivas no solo para abordar la turbidez, sino también para ajustar los niveles de color, asegurando así el cumplimiento de los parámetros establecidos en la normativa para el consumo humano y la protección del recurso hídrico.

Caracterización química del agua

Los resultados obtenidos de la caracterización química del agua indican que la mayoría de los parámetros analizados cumplen con los límites máximos permitidos según la normativa para agua de consumo humano. La dureza, alcalinidad, calcio, magnesio, pH, nitratos, nitritos, fluoruros, sulfatos, amonio y cloro libre residual se encuentran dentro de los rangos aceptables establecidos por la norma TULSMA LIBRO VI ANEXO 1 y la norma NTE INEN 1108. No obstante, es esencial resaltar que se detectaron niveles fuera del rango permitido para los parámetros de fosfatos, hierro y magnesio en algunas muestras.

Tabla 3: Caracterización de los parámetros químicos

Lugar de muestreo	Promedio de las determinaciones: parámetros químicos												
	DUREZA (500mg/L)	ALCALINIDAD (300 mg/L)	CALCIO (70mg/L)	MAGNESIO (30-50 mg/L)	pH (6-8)	NITRATOS (50 mg/L)	NITRITOS (3 mg/L)	FLUORUROS (1.5 mg/L)	SULFATOS (250mg/L)	FOSFATOS (0.30mg/L)	HIERRO (0.30mg/L)	AMONIOS (0.05 mg/L)	CLORO LIBRE RESIDUAL (0.3 a 1.5 mg/L)
Vertiente alta	0.90	100	1.2	0.8	6.38	0.8	0.004	0.9(mg/L)	2	2.7	0.39	0.02	0.8
Vertiente baja	120	0.90	7.0	10.1	6.83	1.8	0.005	1.2(mg/L)	2	3.4	0.52	0.024	0.8
Captación (unión 3 vertientes)	120	120	10.6	13.6	6.31	0.3	0.004	1.5(mg/L)	8	0.64	0.3	0.03	0.9
Domicilio	128	128	10.9	14.1	6.52	0.4	0.012	1.5(mg/L)	8	1.8	0.13	0.04	0.8

Estos resultados como indica la Tabla 3 determina, en términos generales, el agua en la comunidad Airón, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, Ecuador, cumple con los estándares de calidad química para consumo humano. Sin embargo, se requiere un control y seguimiento más riguroso para abordar los niveles de fosfatos, hierro y magnesio que exceden los límites establecidos. Además de los parámetros previamente mencionados, se destaca que el magnesio también presenta desviaciones en algunas muestras.

En consecuencia, es fundamental mantener un monitoreo constante de la calidad química del agua, tomando medidas correctivas adecuadas para garantizar no solo la seguridad y potabilidad del recurso hídrico en la comunidad, sino también para asegurar que los niveles de magnesio, fosfatos y hierro estén en conformidad con las normativas establecidas. Este enfoque proactivo contribuirá a preservar la salud pública y la integridad del suministro de agua en la región.

Caracterización microbiológica del agua

Para confirmar los resultados obtenidos, se procedió a realizar una tinción Gram para determinar la naturaleza de las bacterias (+) o (-) y se observó su morfología bajo el microscopio. A partir de estas pruebas, se logró identificar diferentes especies bacterianas, entre ellas: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella paratyphi A*, como se visualiza en la Figura 1.

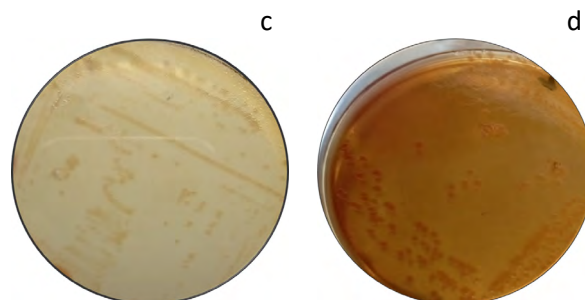
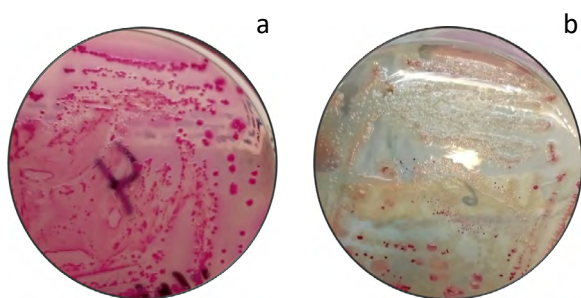


Figura 1: Especies bacterianas. *Escherichia coli* (a), *Escherichia coli inactiva* (b), *Staphylococcus aureus* (c), *Salmonella paratyphi A* (d).

Estos hallazgos representan un avance significativo en la caracterización microbiológica de las muestras de agua analizadas, proporcionando información relevante sobre la presencia de distintas especies bacterianas en la comunidad. La identificación precisa de estas bacterias es crucial para entender su potencial impacto en la calidad del agua y tomar medidas adecuadas para garantizar la seguridad y salubridad del recurso hídrico para el consumo humano. A continuación, se presentan las técnicas usadas para la determinación de coliformes en este estudio:

Técnica NMP

La tabla 4 presenta los resultados del análisis de coliformes totales y fecales mediante el método de Número Más Probable (NMP) en distintos lugares de muestreo en la comunidad Airón, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, Ecuador, en comparación con los límites establecidos por el TULSMA y la norma NTE INEN 1108:2020 para agua potable.

Tabla 4: Cumplimiento del parámetro coliformes totales y fecales en contraste con el TULSMA y NORMA NTE INEN 1108:2020 por la técnica NMP

LUGAR DE MUESTREO	Coliformes Totales			Límite máximo permisible NORMA TULSMA (50* NMP/100MI)		Coliformes fecales Tubos positivos			Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2020 (<1.1 NMP/100mL)	
	10mL	1mL	0.1mL	SI CUMPLE	NO CUMPLE	10mL	1mL	0.1mL	SI CUMPLE	NO CUMPLE
Vertiente alta	4/5	2/5	0/5			4/5	1/5	0/5		
NMP/100mL	2200 NMP				X	1700 NMP				X
Vertiente baja	2/5	1/5	0/5			1/5	2/5	0/5		
NMP/100mL	700 NMP				X	600 NMP				X
Captación (unión de 3 vertientes)	3/5	2/5	0/5			1/5	2/5	0/5		
NMP/100mL	1400 NMP				X	600 NMP				X
Domicilio	2/5	1/5	0/5			1/5	1/5	1/5		
NMP/100mL	700 NMP				X	400 NMP				X

En la vertiente alta (VA), se examinaron 5 muestras, revelando la presencia de coliformes totales en 4 de ellas. Dos de estas muestras superaron el límite permisible de 2200 NMP/100mL, y una muestra mostró la detección de coliformes fecales por encima del límite de 1700 NMP/100mL establecido por la norma NTE INEN 1108:2020. Similarmente, en la vertiente baja (VB), de las 5 muestras analizadas, se encontró la presencia de coliformes totales en 2 muestras, superando una de ellas el límite permisible de 700 NMP/100mL. Además, dos muestras presentaron coliformes fecales, excediendo una de ellas el límite de 600 NMP/100mL.

En la captación - unión 3 vertientes (CU3V), el análisis de 5 muestras reveló la presencia de coliformes totales en 3 de ellas, con 2 muestras excediendo el límite permisible de 1 400 NMP/100mL. Además, una muestra mostró coliformes fecales por encima del límite de 600 NMP/100mL. Finalmente, en el domicilio (D), se analizaron 5 muestras, y en 2 de ellas se detectaron coliformes totales, superando una de estas muestras el límite permisible de 700 NMP/100mL. También se encontró una muestra

con coliformes fecales, excediendo el límite de 400 NMP/100mL.

Los resultados indican que en varios puntos de muestreo se registraron niveles de coliformes totales y fecales que exceden los límites establecidos por el TULSMA y la norma NTE INEN 1 108:2020 para agua potable. Es crucial tomar medidas inmediatas para abordar esta contaminación bacteriana y garantizar el acceso al agua segura y libre de contaminantes microbiológicos para la comunidad.

Técnica de filtración de membrana

La tabla 5 presenta los resultados del análisis de coliformes totales y fecales mediante la técnica de Filtración de Membrana en distintos puntos de muestreo en la comunidad Airón, cantón Chambo, provincia de Chimborazo, Ecuador. Estos resultados son comparados con los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 y la Norma NTE INEN 1108:2020, aunque la referencia a las normas debería incluirse en la sección de metodología.

Tabla 5: Cumplimiento del parámetro coliformes totales y fecales en contraste con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1- 1994 y NORMA NTE INEN 1108:2020 por la técnica Filtración de membrana

Lugar de muestreo	Coliformes totales	Límite máximo permisible Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1- 1994 (2 UFC/100mL)		Coliformes fecales	Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2020 (1ufc/100ml)	
		SI CUMPLE	NO CUMPLE		SI CUMPLE	NO CUMPLE
Vertiente alta	38		X	2		X
Vertiente Baja	3		X	1		X
Captación (unión de 3 vertientes)	91		X	3		X
Domicilio	14		X	33		X

En el lugar de muestreo VA, se encontraron 38 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de coliformes totales, superando el límite máximo permisible de 2 UFC/100mL establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Además, se detectaron 2 UFC de coliformes fecales, excediendo el límite permisible de 1 UFC/100mL establecido por la Norma NTE INEN 1 108:2020. En el lugar de muestreo VB, se hallaron 3 UFC de coliformes totales, superando el límite máximo permisible de 2 UFC/100mL establecido por la Norma Oficial Mexicana. También se identificó que la variable de coliformes fecales, excediendo el límite permisible de 1 UFC/100mL establecido por la Norma INEN 1 108:2020. En el lugar de muestreo CU3V, se registraron 91 UFC de coliformes totales, nuevamente superando el límite máximo permisible de la Norma Oficial

Mexicana. Asimismo, se detectaron 3 UFC de coliformes fecales, excediendo el límite permisible de la Norma INEN 1 108:2020. En el lugar de muestreo D, se identificaron 14 UFC de coliformes totales, superando el límite máximo permisible de la Norma Oficial Mexicana. Además, se hallaron 33 UFC de coliformes fecales, excediendo el límite permisible de la Norma INEN 1 108:2020.

Los resultados evidencian que, en todos los puntos de muestreo, tanto para coliformes totales como fecales, se exceden los límites máximos permisibles establecidos por ambas normas, la NOM-127-SSA1-1994 y la NTE INEN 1108:2020. Esta situación señala una alta contaminación bacteriana en el agua de la comunidad, representando un riesgo significativo para la salud pública. Se recomienda tomar medidas inmediatas para implementar

tratamientos adecuados en todos los puntos monitoreados y garantizar que el agua sea segura para el consumo humano, cumpliendo con los estándares establecidos por ambas normas.

Antibiograma y pruebas bioquímicas

Tabla 6: Antibiograma de bacterias aisladas.

Antibióticos	Bacterias aisladas			
	Escherichia coli activa	Escherichia coli inactiva	Staphylococcus aureus	Salmonella paratyphi A
Ácido Nalidíxico			S	
Amikacina	S	S	--	R
Ampicilina	S	S	R	S
Gentamicina	S	S	S	S
ceftriaxona	--	--	S	--
Penicilina	--	--	S	R
Cloranfenicos	--	--	S	S
Cefotaxima	R	S	--	S
Ceftazidima	R	R	--	--
Oxacilina	R	R	--	--

En la Tabla 6, se muestran los resultados del antibiograma (Figura 2) de las bacterias aisladas, incluyendo *Escherichia coli* activa, *Escherichia coli* inactiva, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella paratyphi A*. Los resultados indican que la amikacina, ampicilina y gentamicina han sido los antibióticos más efectivos, ya que las bacterias mencionadas son sensibles a estos medicamentos.

Tabla 7: Pruebas bioquímicas

Bacteria	Catalasa	TSI	SIM	LIA	Citrato	Manitol	Urea	Oxidasa
<i>Escherichia coli</i>	Positivo	Glucosa: + (Amarillo) Lactosa: + (Amarillo) H2S: +	Movilidad: + Indol: + Kovac: +	Positivo (Amarillo)	Negativo	Positivo	Negativo (Blanco)	Negativo
<i>Staphylococcus aureus</i>	Positivo	Glucosa: + (Amarillo) Lactosa: - (Rojo) H2S: -	Movilidad: - Indol: - Kovac: -	Negativo (Morado)	Positivo	Positivo	Positivo (Rosado)	Negativo
<i>Salmonella paratyphi A</i>	Positivo	Glucosa: + (Amarillo) Lactosa: - (Rojo) Gas: -	Movilidad: + Indol: - Kovac: +	Negativo (Morado)	Negativo	Positivo	Negativo (Blanco)	Negativo

Estos resultados destacan la importancia de una gestión adecuada de antibióticos y la necesidad de implementar medidas para prevenir y controlar la resistencia bacteriana en la comunidad. Un uso responsable de los antibióticos es esencial para preservar su eficacia y asegurar el tratamiento adecuado de las infecciones bacterianas.

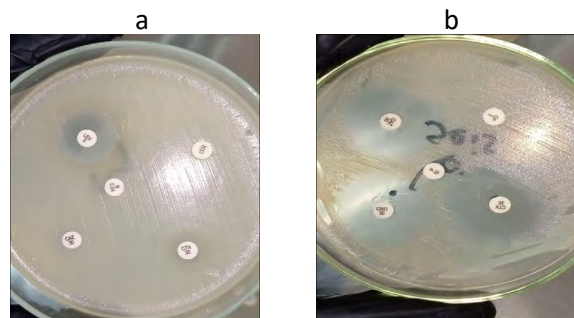


Figura 2: Antibiogramas. Resistencia de antibióticos (a), Sensibilidad de antibióticos (b).

Es importante resaltar que la resistencia bacteriana ante antibióticos de uso común es un desafío significativo en la sociedad actual, resultado del uso indiscriminado de estos medicamentos. La adaptación bacteriana y la adquisición de resistencia son consecuencias de la modificación genética seguida de la selección de mutantes resistentes.

Las pruebas bioquímicas realizadas en las bacterias aisladas de las muestras de agua revelaron características distintivas para cada especie. *Escherichia coli* mostró positividad en la catalasa y diversas reacciones en el medio TSI y SIM, confirmando su presencia. *Staphylococcus aureus*, por otro lado, se caracterizó por ser catalasa y coagulasa positiva, y mostró patrones específicos en TSI y SIM. Por último, *Salmonella paratyphi A* exhibió positividad en catalasa y patrones particulares en TSI, SIM y LIA. Estos resultados bioquímicos son cruciales para la identificación precisa de las bacterias presentes en las muestras de agua, proporcionando información valiosa sobre su naturaleza y potencial impacto en la calidad del agua (Tabla 7).

4. Discusión

Los resultados de los parámetros físicos revelan que el color en las aguas superficiales y subterráneas tiene su origen principal en la presencia de materia orgánica, especialmente en la forma de materia húmica¹⁷. El humus, compuesto por ácidos fúlvicos y húmicos, desempeña un papel fundamental al

proporcionar el distintivo tono marrón amarillento del agua. La contribución de los ácidos húmicos intensifica el color, y en presencia de hierro, este fenómeno se magnifica debido a la formación de humatos de hierro solubles. Es esencial señalar que el color aparente del agua se evalúa en el momento de la recolección, sin someterla a un proceso de filtración con una membrana de 0.45 micras. Este enfoque evita interferencias de color causadas por material en suspensión o disuelto. En contraste con la investigación previa realizada por Correa & Rodríguez (2022), que examinó muestras de la vertiente Curingui Wachana bajo los estándares de la NORMA INEN 1108, donde se encontró un color de 15 (Pt-Co), cumpliendo con los parámetros normativos, nuestros hallazgos corroboran estos resultados en la presente investigación ¹⁸.

Por otro lado, la turbidez, medida que evalúa la capacidad del agua para dispersar y absorber la luz, reviste importancia en términos estéticos, movilidad y eficiencia de desinfección. Niveles elevados de turbidez protegen a los microorganismos de la acción desinfectante del cloro. Ortiz (2015) demostró que durante el período Junio-Julio, todas las muestras analizadas cumplen con el límite establecido por la norma NTE INEN 1 108:2014, asegurando así la calidad del agua suministrada a sus beneficiarios en este aspecto ¹⁹.

Contrastando esta información, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (USEPA) designa al STD como un contaminante secundario, con un límite máximo de concentración de 500 mg/L en agua potable. La regulación secundaria se establece debido a que altos niveles de STD ocasionan turbidez y afectan el sabor del agua, pudiendo causar irritación gastrointestinal en personas no habituadas a concentraciones elevadas de STD. Esto también puede interferir con los equipos de tratamiento de agua, aspecto crucial a considerar al instalar un sistema de tratamiento ²⁰. Al analizar los resultados de la investigación de agua potable de Ortiz (2015), se confirma que los datos se mantienen dentro de los límites permitidos. Los análisis de sólidos totales disueltos durante la investigación cumplen con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN 1 108:2006, evidenciando niveles entre 50 mg/L y 207 mg/L ¹¹.

Según la investigación denominada "La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica", la mayoría de las fuentes de agua presentan conductividades que varían entre 50 y

549 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en pozos, y entre 25 y 499 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en manantiales, con algunas excepciones. En el caso de los pozos, la mayoría tiene conductividades dentro del rango de 150 a 199 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aunque hay un pequeño porcentaje por debajo de 149 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y por encima de 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto a los manantiales, las conductividades principalmente se encuentran entre 100 y 199 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con algunos casos de baja conductividad superando los 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos resultados indican que los valores de conductividad están dentro de los límites permitidos, lo que sugiere una buena calidad del agua en estas fuentes ²¹.

Para los resultados obtenidos de los parámetros químicos, según el estudio realizado por Rodríguez (2009), se encontró que el distrito de Tacares tiene el agua más dura con un promedio de 95.26 ppm de CaCO_3 , aunque aún se encuentra por debajo del valor recomendado. Por otro lado, el distrito de Bolívar presenta la menor concentración de dureza cálcica con 50.09 ppm de CaCO_3 . Los distritos de Tacares, Puente Piedra, San Roque y San José poseen agua moderadamente dura, con niveles inferiores a 120 ppm de CaCO_3 . Por su parte, los distritos de Grecia, San Isidro y Bolívar tienen agua blanda, con valores que no superan las 60 ppm de CaCO_3 . En conclusión, los valores de dureza en esta zona de investigación son bastante bajos ¹⁰.

En los resultados de estudio de Pérez (2016), la alcalinidad en aguas domésticas, es decir, agua potable, generalmente se encuentra en un rango de 50 a 200 mg/L de CaCO_3 . A nivel internacional, se acepta una alcalinidad mínima de 20 mg/L de CaCO_3 para mantener la vida acuática. Sin embargo, en nuestra normativa y según los resultados de esta investigación, el límite permitido es de 300 mg/L. Afortunadamente, las muestras analizadas no superan los 128 mg/L de alcalinidad, lo que indica que están dentro de los límites aceptables. Además, la determinación de calcio y magnesio por absorción atómica muestra que ambas cantidades están dentro de los valores recomendados para el consumo humano, que son 100 mg/L para calcio y 30 mg/L para magnesio según el Reglamento. Los resultados obtenidos en esta investigación oscilan entre 0 y 32.1 mg/L para el calcio, y de 2.3 a 7.4 mg/L para el magnesio. En conclusión, los valores obtenidos en esta investigación para calcio y magnesio están dentro de los rangos recomendados y son adecuados para el consumo humano ²².

Conforme con la investigación realizada por Rodríguez (2009), en relación con el pH, solo el distrito San José presenta un valor por debajo del

límite inferior de 6.5. Los demás distritos tienen valores de pH dentro del rango normal. En general, los valores obtenidos en esta comparativa cumplen con las normas nacionales, a excepción del distrito de Grecia, que permite un pH a partir de 6.5¹⁰.

En cuanto a los nitratos, estos no se consideran venenosos por sí mismos, pero la ingestión de grandes cantidades provoca un efecto diurético. Por otro lado, los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos, las nitrosaminas, a través de una reacción con aminas secundarias o terciarias, además de interactuar con los glóbulos rojos, provocando metahemoglobinemia, lo que impide el transporte de oxígeno al organismo¹⁴. Se determinó la concentración de los aniones en los acueductos y municipios de los cantones de Grecia y Poás, en un estudio realizado por Bolaños et al. (2017), se obtuvo como resultado que el ion nitrato estuvo presente en un rango de 0 a 37.45 mg/L, destacándose valores que superaban el valor alerta indicado en el decreto No 38 924-S, establecido en 25 mg/L. En nuestro caso, todas las muestras se encontraron dentro del límite establecido por la norma NTE INEN 1 108 de agua potable de 50 mg/L¹³.

Los nitritos también se producen por la biodegradación de nitratos, nitrógeno amónico u otras sustancias orgánicas que contienen nitrógeno y se utilizan como indicador de contaminación fecal en aguas naturales¹⁴. De acuerdo con Bolaños et al. (2017), el nitrito, se relaciona con los nitratos por su capacidad de convertirse en estos de manera natural. Se realizaron determinaciones para todos los acueductos en los meses de julio del 2015 y diciembre del 2016, la procedencia de las cinco muestras que dieron un resultado superior al valor máximo establecido de 0.1mg/L, con valores que para Grecia oscilaron entre 0.12 y 0.14 mg/L. Con respecto al presente estudio, los valores máximos permitidos son de 3mg/L y todas las muestras se encuentran en el rango de 0.004 a 0.012 mg/L, siendo óptimo para el consumo humano¹³.

Según Galicia et al. (2011), la concentración de fluoruros en las muestras de agua mostró variaciones entre 0.44 a 1.28 ppm, con una media de 0.86±0.19 ppm. Cuatro pozos en la zona norte presentaron concentraciones de fluoruro superiores a 0.7 ppm, siendo el pozo Santa Catarina el que registró la concentración más alta de 0.95 ppm. En contraste, nuestros resultados mostraron una media de 1.27 mg/L, lo cual indica que las muestras son adecuadas para el consumo según este parámetro, ya que ninguna superó el

límite de 1.5 mg/L establecido por la norma NTE INEN 1 108 de agua potable¹².

Con respecto a la investigación realizada por Bolaños et al. (2017), los valores obtenidos para el ion sulfato se encuentran en el rango de 0.30 a 44.88 mg/L. Es importante destacar que el valor de alerta establecido por el Ministerio de Salud de Costa Rica es de 25 mg/L, y varias muestras superaron este límite, como fue el caso de las muestras recolectadas en el acueducto ASADA de El Cajón, con promedios de 43.19 ± 0.02 mg/L en julio del 2015, 32.67 ± 0.02 mg/L en diciembre del 2015, y 37.59 ± 0.02 mg/L en julio del 2016. Sin embargo, en el presente estudio, las muestras presentaron concentraciones de ion sulfato muy bajas, lo que no representa un riesgo significativo para la comunidad¹³.

El aspecto y/o sabor del agua puede indicar la presencia de hierro. Por ejemplo, se pueden ver partículas de color marrón rojizo cuando sale agua del grifo. Estas partículas de hierro pueden provenir de tuberías corroídas o de la misma fuente de agua²³. En el estudio realizado por Guamán & Méndez (2017), se han presentado los resultados de la cuantificación de hierro en los sitios de muestreo seleccionados. Los promedios obtenidos, basados en 30 muestras recolectadas en diferentes domicilios de cada sector, muestran un rango de concentración de hierro de 0.047 a 0.119 mg/L. Estos valores están dentro de los límites establecidos por nuestra normativa nacional para el consumo humano. Sin embargo, es importante destacar que, en el caso de las muestras de esta investigación, se encontraron valores que sobrepasan el límite permisible, con concentraciones de hierro de 0.39 y 0.52 mg/L. Estas concentraciones pueden requerir una atención especial en el tratamiento del agua para garantizar su adecuada calidad para el consumo humano²⁴.

En el estudio realizado por Caicedo & Coello (2010), los datos que se obtuvieron de las muestras analizadas fueron en promedio de 0.01 mg/L, siendo óptimas; al igual que los resultados obtenidos en el presente estudio donde las muestras van de 0.02 a 0.04 mg/L, cumpliendo con los parámetros establecidos de 0.05 mg/L por la norma TULSMA LIBRO VI ANEXO 1⁸. Finalmente, en el contexto del monitoreo de la calidad del agua, la medición del cloro residual es un parámetro de alta importancia y se lleva a cabo con frecuencia en el campo para evaluar la seguridad microbiana y determinar la calidad del agua en el sistema de distribución. El cloro es un elemento fundamental

que se agrega al agua potable para reducir o eliminar los microorganismos que pueden causar enfermedades transmitidas por el agua. Por lo tanto, es crucial mantener niveles adecuados de cloro residual en todo momento y en todos los puntos del sistema de distribución de agua potable, ya que esto garantiza la destrucción continua de posibles sustancias contaminantes que puedan ser añadidas al agua posteriormente ²⁵.

El análisis microbiológico incluyó pruebas bioquímicas como la *catalasa* y la oxidasa. La prueba de *catalasa* se utiliza para detectar la presencia de la enzima *catalasa*, común en bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas con *citocromo oxidasa*. Por otro lado, la prueba de *oxidasa* determina la presencia de enzimas de oxidación, específicamente del sistema *citocromo oxidasa*, que está presente en organismos aeróbicos y algunos anaerobios facultativos, pero no en anaerobios estrictos. Estas pruebas son útiles para caracterizar los microorganismos y su capacidad respiratoria ²⁶.

La prueba TSI es útil para identificar patógenos entéricos Gram negativos, evaluando la fermentación de *lactosa*, *sacarosa* y *glucosa* con producción de ácido y gas, además de detectar *ácido sulfhídrico* ²⁷. En la prueba SIM, se busca la presencia de indol, un producto de la degradación del *triptófano*, que indica la presencia de la enzima *triptofanasa* en la bacteria ²⁸. La prueba de citrato determina si un organismo puede utilizar citrato como única fuente de carbono y compuestos amoniacales como fuente de nitrógeno, alcalinizando el medio ²⁹. Estas características son comunes en géneros como *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Citrobacter* y algunas *Salmonella*, mientras que *Escherichia*, *Shigella*, *Salmonella typhi* y *Salmonella paratyphi* no pueden crecer con estos nutrientes. La prueba de manitol detecta la fermentación del manitol mediante un cambio de color en el medio. Por último, la prueba de urea evalúa la capacidad de un organismo para desdoblar la urea, siendo característica de especies de *Proteus* y diferenciándola de otras enterobacterias que dan resultados negativos o positivos retardados ²⁶.

Los resultados de las pruebas revelan la persistencia de microorganismos como *coliformes* totales y fecales, así como la presencia de hongos en todas las áreas de monitoreo. Según Aza (2019), es común encontrar microorganismos en cuerpos de agua debido a descargas o escorrentías que arrastran microbiotas de pastizales, lo que puede aumentar los niveles de *coliformes* y *hongos*

patógenos ³⁰. Aunque los resultados estadísticos muestran homogeneidad en su mayoría, es relevante destacar que no se encontraron parásitos en las muestras, lo que destaca la necesidad de un tratamiento adecuado antes del consumo humano para inhibir la presencia de estos microorganismos ³¹.

La resistencia bacteriana a los antibióticos es una problemática cada vez más importante debido al uso inadecuado de estos medicamentos, lo que ha llevado al desarrollo de una capacidad de adaptación en las bacterias conocida como resistencia adquirida ³². Este fenómeno se debe a cambios en sus genes seguidos por la selección de mutantes resistentes. Mediante pruebas bioquímicas como la tinción Gram, fermentación de azúcares, movilidad, producción de indol y ácido sulfúrico, prueba de *catalasa* y prueba de la *oxidasa*, se identificó que las bacterias aisladas, especialmente *Escherichia coli* activa e inactiva, presentan resistencia a ciertos antibióticos como *Ceftazidina*, *cefotaxima* y *oxacilina* ³³. Asimismo, *Staphylococcus aureus* muestra resistencia a *Ampicilina*, y *Salmonella paratyphi A* para *amikacina*. Estos resultados resaltan la necesidad de un uso responsable y adecuado de los antibióticos para abordar el problema de la resistencia bacteriana.

Este estudio contribuye al entendimiento de la calidad del agua en la zona, proporcionando datos actualizados sobre diversos parámetros. Las pruebas bioquímicas han permitido la identificación precisa de microorganismos y su resistencia a antibióticos, brindando nuevos conocimientos en esta área.

Sin embargo, es importante considerar algunas limitaciones. La falta de información sobre la temporada de muestreo y la variabilidad estacional podría afectar la interpretación de los resultados. Además, la ausencia de parásitos podría deberse a limitaciones en las técnicas de detección. La representatividad de las muestras y su extrapolación a otras áreas deben abordarse en futuras investigaciones.

5. Conclusiones

En conclusión, este estudio ha llevado a cabo una detallada caracterización física, química y microbiológica del agua en la comunidad durante el periodo de octubre a diciembre de 2022. Los resultados obtenidos muestran que, en su mayoría, el agua cumple con los estándares establecidos

para consumo humano. Sin embargo, se han identificado ciertas áreas de preocupación, como la presencia de *coliformes fecales* y la resistencia bacteriana a algunos antibióticos. Estos hallazgos resaltan la importancia de un monitoreo constante y una gestión adecuada del agua para proteger la salud pública y asegurar un suministro de agua seguro y de calidad. Se requiere una acción continua para abordar los desafíos identificados y garantizar el acceso a un recurso hídrico confiable y saludable para la comunidad. Se sugiere realizar muestreos estacionales para comprender mejor las variaciones en la calidad del agua. Mejorar las técnicas de detección de parásitos podría proporcionar una imagen más completa de la microbiología del agua. La implementación de tratamientos específicos para reducir la concentración de hierro es crucial. Además, promover prácticas responsables de antibióticos en la comunidad es esencial para abordar la resistencia bacteriana.

6. Conflicto de intereses

El autor declara que no hay conflicto de interés.

7. Limitaciones de responsabilidad

El autor asume toda la responsabilidad por la información presentada en este artículo científico original.

9. Referencias Bibliográficas

- Angulo, L. & Hernández, A. Importancia de los servicios de agua potable y saneamiento básico en la zona rural del Perú: revisión sistemática. (2019).
- Angulo, A. La auditoría ambiental y el servicio de agua potable en la ciudad de Huánuco. *Investigación Valdizana* 15, 257–264 (2021).
- Villacis, O. Determinación de la calidad del agua potable en la Provincia del Guayas, Octubre 2022-Enero 2023. (2023).
- Morales, M. Rediseño del sistema de tratamiento de la planta de agua potable El Tambo del cantón Pelileo, para mejorar la remoción de fluoruros. (2022).
- Mena, J. Evaluación de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia La Victoria, cantón Pujilí. (2022).
- Castro, A. & Pulecio, G. Análisis documental de las aguas subterráneas y su caracterización in situ en el Municipio Girardot. (2022).
- Angulo, L. & Hernández, Á. Importancia de los servicios de agua potable y saneamiento básico en la zona rural del Perú. (2019).
- Caicedo, J. & Coello, J. Determinación de la calidad del agua de los ríos de la Provincia de Chimborazo, parámetros: demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y amonio. (2010).
- Angulo, A. La auditoría ambiental y el servicio de agua potable en la ciudad de Huánuco. *Investigación Valdizana* 15, 257–264 (2021).
- Rodríguez, J. Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. *Revista Pensamiento Actual, Universidad de Costa Rica* 9, 125–134 (2009).
- Castro, L. & Ochoa, L. Caracterización fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial del Río Ichu en zonas adyacentes al distrito de Huancavelica y Ascensión, 2020. (2020).
- Galicia, L., Molina, N., Oropeza, A., Gaona, E. & López, L. Análisis de la concentración de fluoruro en agua potable de la delegación Tláhuac, Ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental* 27, 1–8 (2011).
- Bolaños, J., Cordero, G. & Segura, G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha* 30, 15 (2017).
- Cabrera, E., Hernández, L., Gómez, H. & Cañizares, P. Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método

- estándar. *Revista de la Sociedad Química de México* 47, 88–92 (2013).
15. Ojeda, C. Validación de método NMP modificado a 10% de reactivos para determinación de coliformes fecales y *E. coli* en aguas de consumo humano marcado en la NOM-210-SSA1-2014. (2021).
 16. Jaimes, A. Validación interna del método filtración por membrana para la detección y recuento de coliformes totales y *Escherichia coli* en muestras de aguas residuales, superficiales y subterráneas en medio colinstante. (2018).
 17. Escadón, C. & Cáceres, M. Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo". (2022).
 18. Correa, E. & Rodríguez, W. Estudio de captación para un sistema de agua potable de las comunas Tigua, Provincia Cotopaxi, aplicando la Norma Técnica NTE INEN 1108. (2022).
 19. Ortiz, L. Análisis físico, químico y microbiológico del sistema de agua de la junta administradora de agua potable y alcantarillado regional Yanahurco antes y después del tratamiento convencional. (2015).
 20. Sigler, A. & Bauder, J. Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales. *Recursos de la Tierra y Ciencias Ambientales* 10, 1–7 (2016).
 21. Solís, Y., Zúñiga, L. A. & Mora, D. La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* 31, 35 (2018).
 22. Pérez, E. Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha* 29, 3 (2016).
 23. Guillen, R., Jaramillo, A., Baquerizo, R. & Córdova, R. Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión. *Polo del Conocimiento* 6, 1–24 (2021).
 24. Guamán, S. & Mendez, D. Determinación de hierro y manganeso a nivel de las redes de distribución y en agua procedente de las captaciones de la planta de agua potable EMAPAL (Uchupucún, Azogues). (2017).
 25. Ferro, F., Ferró, P. & Ferró, A. Distribución temporal de las enfermedades diarreicas agudas, su relación con la temperatura y cloro residual del agua potable en la ciudad de Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research* 21, 69–80 (2019).
 26. Bou, G., Fernández, A., García, C., Sáez, J. & Valdezate, S. Métodos de identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología. *Enferm Infecc Microbiol Clin* 29, 601–608 (2011).
 27. Romero, E., Pérez, K. & Tamara, L. Pruebas bioquímicas. (2019).
 28. Yucra-Condori, H. R., Choquenaira-Quispe, C., Gonzales-Condori, E. G. & Ramirez, J. K. Aislamiento e identificación de bacterias tolerantes al metamidofos de suelos agrícolas en Arequipa, Perú. in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology* vols 2022-July 1–7 (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022).
 29. Carrera, R. Aislamiento e identificación bioquímica de una cepa bacteriana para su aplicación en el tratamiento de agua residual. (2023).
 30. Aza, M. Determinación de coliformes totales y fecales del agua potable, del Distrito de Chuquibamba, Provincia de Condesuyos, Arequipa, entre Abril y Junio del 2018. (2019).
 31. Díaz, T. & Collantes, L. Determinación de la efectividad del uso de microorganismos de montaña para el tratamiento de las aguas residuales in vitro en el caserío de Chontamuyo - San Martín 2018. (2019).
 32. Medina, D. & García, F. Patrones de resistencia bacteriana en urocultivos de un hospital de Chihuahua, México. *Medicina Interna de Mexico* 37, 494–503 (2021).
 33. Quiñones, D., Yu, H. & Han, X. La humanidad enfrenta un desastre: la resistencia antimicrobiana. *Revista Habanera de Ciencias Médicas* 20, 1–9 (2021).