



Calidad de fuentes de agua para consumo humano en la comunidad El Frutillo, Bambamarca-Cajamarca

Quality of water sources for human consumption in the El Frutillo community, Bambamarca-Cajamarca

Qualidade das fontes de água para consumo humano na comunidade El Frutillo, Bambamarca-Cajamarca

Ismael Suárez-Medina¹

Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota – Cajamarca, Perú

 <https://orcid.org/0000-0001-5189-7282>
isuarezm@unach.edu.pe (correspondencia)

Ana Guerrero-Padilla

Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo – La Libertad, Perú

 <https://orcid.org/0000-0003-0008-3785>
mguerrero@unitru.edu.pe

DOI: <https://doi.org/10.35622/j.ti.2024.02.002>

Recibido: 26/02/2024 Aceptado: 23/05/2024 Publicado: 28/05/2024

PALABRAS CLAVE

calidad, consumo humano, contaminantes, fuentes hídricas.

RESUMEN. Las fuentes de agua sin tratamiento pueden acarrear problemas sanitarios en las personas y demás seres vivos; por conglomeración de masa viviente, microbios infecciosos, sólidos en suspensión, metales pesados, etc; es imprescindible averiguar su calidad asegurando su inofensividad, evitando agentes, resguardando la salubridad y comodidad de la comunidad. El objetivo fue determinar la calidad de fuentes de agua para consumo humano analizando las correlaciones entre parámetros en la comunidad El Frutillo, Bambamarca-Cajamarca. Se efectuó 7 monitoreos en cada 3 sitios, de noviembre del 2022 a mayo de 2023; para análisis de indicadores físicos, químicos y coliformes se emplearon métodos de ensayo prosiguiendo instrucciones de la Dirección General de Salud Ambiental. Comparando los límites máximos permisibles del D. S. N° 031-2010-SA-DIGESA con los resultados, se alcanzaron entre 15,4°C a 17,2 °C de temperatura; 0,11 a 1,40 UNT de turbiedad; 163,5 a 305,0 mg/L de sólidos totales disueltos; color < LCM, 7,29 a 8,08 unidades de pH; 0,39 a 7,73 mg/L de cloruros; 0,084 a 0,221 mg/L de fluoruros; fosfatos <LCM; 1,77 a 8,36 mg/L de nitratos; nitritos <LCM; 1,92 a 28,10 mg/L de sulfatos; 1,8 a 920,0 NMP/100mL coliformes totales y 1,8 a 11,0 NMP/100mL coliformes termotolerantes. Los coeficientes de correlación de pH, temperatura, turbidez versus coliformes fue 0,907, -0,291, 0,975 respectivamente. Concluyendo que la calidad fisicoquímica es buena; pero la bacteriológica es de mala calidad, no siendo apta para suministro humano; así lo evidencian las correlaciones, puesto que, a mayores contenidos de pH, turbidez y temperatura, mayor es la concentración de coliformes.

¹ Docente contratado adscrito al Departamento de Ciencias Ambientales de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, Perú.



KEYWORDS

human consumption, quality, pollutants, water sources.

ABSTRACT. Untreated water sources can pose health risks to people and other living beings; due to the congregation of living mass, infectious microbes, suspended solids, heavy metals, etc.; it is essential to investigate their quality ensuring their harmlessness, avoiding agents, and safeguarding the health and comfort of the community. The objective was to determine the quality of water sources for human consumption by analyzing the correlations between parameters in the community of El Frutillo, Bambamarca-Cajamarca. Seven monitoring sessions were conducted at three sites from November 2022 to May 2023; for the analysis of physical, chemical, and coliform indicators, test methods were used following the instructions of the General Directorate of Environmental Health. Comparing the maximum permissible limits of D.S. No. 031-2010-SA-DIGESA with the results, the following were achieved: temperatures between 15.4°C to 17.2°C; turbidity from 0.11 to 1.40 NTU; 163.5 to 305.0 mg/L of total dissolved solids; color < MCL; pH from 7.29 to 8.08; 0.39 to 7.73 mg/L of chlorides; 0.084 to 0.221 mg/L of fluorides; phosphates < MCL; 1.77 to 8.36 mg/L of nitrates; nitrites < MCL; 1.92 to 28.10 mg/L of sulfates; 1.8 to 920.0 MPN/100mL total coliforms and 1.8 to 11.0 MPN/100mL thermotolerant coliforms. The correlation coefficients for pH, temperature, and turbidity versus coliforms were 0.907, -0.291, and 0.975 respectively. Concluding that the physicochemical quality is good; however, the bacteriological quality is poor, not being suitable for human supply; as evidenced by the correlations, since higher contents of pH, turbidity, and temperature lead to higher concentrations of coliforms.

PALAVRAS-CHAVE

consumo humano, qualidade, poluentes, fontes de água.

RESUMO. Fontes de água não tratadas podem acarretar problemas sanitários para pessoas e outros seres vivos; devido à aglomeração de massa viva, micróbios infecciosos, sólidos em suspensão, metais pesados, etc.; é essencial investigar sua qualidade garantindo sua inocuidade, evitando agentes e protegendo a saúde e o conforto da comunidade. O objetivo foi determinar a qualidade de fontes de água para consumo humano analisando as correlações entre parâmetros na comunidade El Frutillo, Bambamarca-Cajamarca. Foram realizados sete monitoramentos em três locais, de novembro de 2022 a maio de 2023; para análise de indicadores físicos, químicos e coliformes foram utilizados métodos de ensaio seguindo as instruções da Direção Geral de Saúde Ambiental. Comparando os limites máximos permitidos do D.S. N° 031-2010-SA-DIGESA com os resultados, alcançaram-se temperaturas entre 15,4°C a 17,2 °C; turbidez de 0,11 a 1,40 UNT; 163,5 a 305,0 mg/L de sólidos totais dissolvidos; cor < LMC; pH de 7,29 a 8,08; 0,39 a 7,73 mg/L de cloretos; 0,084 a 0,221 mg/L de fluoretos; fosfatos < LMC; 1,77 a 8,36 mg/L de nitratos; nitritos < LMC; 1,92 a 28,10 mg/L de sulfatos; 1,8 a 920,0 NMP/100mL de coliformes totais e 1,8 a 11,0 NMP/100mL de coliformes termotolerantes. Os coeficientes de correlação de pH, temperatura, turbidez versus coliformes foram 0,907, -0,291, 0,975 respectivamente. Concluindo que a qualidade físico-química é boa; no entanto, a qualidade bacteriológica é ruim, não sendo adequada para fornecimento humano; como evidenciado pelas correlações, uma vez que maiores conteúdos de pH, turbidez e temperatura levam a maiores concentrações de coliformes.

1. INTRODUCCIÓN

El Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano según Decreto Supremo N° 031-2010-SA-DIGESA (2010), establece disposiciones generales, con el propósito de avalar su inocuidad, prevenir los elementos de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la comunidad; entre las que destacan los siguientes aspectos: la gestión de la calidad del agua; la vigilancia sanitaria; el control y supervisión; la fiscalización, las autorizaciones, registros y aprobaciones sanitarias respecto a los sistemas de suministro de agua para el hombre; los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano y la difusión y acercamiento a la información sobre la calidad del agua.

Las normas sanitarias del presente reglamento y lo que decreta el Ministerio de Salud son de cumplimiento obligatorio para todas personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, dentro del territorio peruano, que tenga competencia de acuerdo a ley o intervenga en cualquiera de las acciones de gestión, administración, operación, mantenimiento, control, supervisión o fiscalización del abastecimiento del agua para consumo



humano, desde la fuente hasta su consumo; Cabe señalar que, no se hallan comprendidas en el ámbito de aplicación del Reglamento: las aguas minerales naturales reconocidas por la autoridad competente; aguas que por sus propiedades fisicoquímicas, sean consideradas como productos medicinales.

Las fuentes hídricas son recursos naturales muy valiosos para el crecimiento y desarrollo de la comunidad, desempeña funciones de preservación, conservación y regulación de los sistemas ecológicos; además, es necesaria e imprescindible en cada etapa de un proceso productivo, sin ella no existiera productividad (Andrekowisk Fioravanti et al., 2022). La calidad del recurso hídrico está comprendida por los constituyentes minerales, junto con las particularidades físicas, químicas y biológicas. Es una definición de cierto modo condicionada, dado que no se puede realizar una tipificación categórica de la cualidad o calidad; porque la clasificación de calidad del líquido elemento ha de aludirse a los hábitos a que se asigna; en tal sentido, la calidad indispensable para cada empleo cambia, tal como las reglas utilizadas para analizarla (Martínez-Orjuela et al., 2020).

Entonces, aquellas fuentes de agua que no tienen ningún tratamiento pueden acarrear problemas de salud en las personas y demás seres vivos; por la elevada concentración de materia orgánica, carga bacteriana y otros agentes perjudiciales, metales pesados, sólidos en suspensión y lo demás (Sória et al., 2020). Por ende, las acciones humanas, el desarrollo urbano son los primordiales agentes de polución; es por ello que, el líquido vital puede abarcar impurificantes biológicos y químicos que ocasionan diferentes padecimientos (Sales e Souza et al., 2021); el agua servida se introduce en el terreno simbolizando un peligro latente de infección para el suelo y el manto acuífero (León-Duarte et al., 2022a), generando dificultades a los ecosistemas y por consiguiente a la salubridad puesto que abarcan considerable cantidad de sustancias orgánicas, microbios perniciosos, elementos minerales tóxicos, partículas suspendidas, partículas inestables y demás, que si no se tiene un adecuado tratamiento pueden empeorar a los componentes del ambiente (Andueza et al., 2020). Las actividades agrícolas también pueden potenciar la contaminación del agua en la cuenca (Sória et al., 2020). Sin embargo, el escollo más peligroso para la salubridad de la población vinculada con la aptitud del agua para suministro de las personas es el que proviene de la infección con microorganismos, específicamente de excretas y heces (Morales-Mora et al., 2022).

Basado en lo mencionado antes, las fuentes hídricas para abastecimiento de las personas de El Frutillo, la misma que es manejada por la JASS (Junta Administradora de Servicios de Saneamiento), y que poseen los criterios muy limitados a fin de gestionar el recurso hídrico, referido a calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua que provee para 400 hogares; cuyas fuentes de agua, cámara de reunión y reservorios (que no contiene su caseta de cloración), posiblemente se encuentren impactadas negativamente por las actividades antrópicas; entre ellas, la actividad pecuaria (lavado de corrales), la cual no es desarrollada adecuadamente (Suárez-Medina, 2020).

Por ejemplo, el pastoreo de diferentes animales muy cerca a los predios donde se hallan los manantiales, pozo tubular, cámara de reunión y reservorios; además los moradores de la mencionada comunidad no cuenta con servicio de desagüe; así que, las aguas servidas son derramadas de primera mano en la superficie del suelo; es decir, utilizan letrinas y pozos ciegos para realizar sus necesidades fisiológicas, sin darles ningún tipo de tratamiento, generando posibles filtraciones a las fuentes de agua; en tal sentido, estos son elementos que influyen al aumento de afecciones en la salud de la comunidad, incrementando el presupuesto y financiamiento de las entidades públicas de la nación para el cuidado y vigilancia de la salud a efectos del líquido vital. Por lo

tanto, la existencia de altas concentraciones de bacterias en el recurso hídrico es una disyuntiva, dado que podría generar perjuicios a la salubridad de los comuneros, si no se ejecuta la desinfección del agua con cloro (Estupiñán-Torres et al., 2019).

Por otro lado, los manantiales, cámara de reunión, reservorios y demás componentes del sistema no tienen cerco perimétrico y muy cerca de las mencionadas infraestructuras existen viviendas que desarrollan actividades agrícolas, las cuales están contaminando la cualidad de las fuentes de agua utilizada para suministro de los moradores de la comunidad; ya que los agricultores utilizan agroquímicos para la producción de sus diferentes cultivos; de tal manera, que los residuos de estos, pueden filtrarse hacia las estructuras que en la actualidad se encuentran deterioradas, debido a que el mencionado sistema tiene aproximadamente 40 años de funcionamiento (Suárez-Medina, 2020).

Además, Suárez-Medina (2022) precisa que las fuertes precipitaciones registradas en diferentes épocas del año ocasionan escorrentía superficial y subterránea, lavando y trasladando los residuos de las diversas actividades antrópicas; en consecuencia, las letrinas o pozos ciegos colapsan, llegando las aguas servidas a los predios cercanos donde se encuentran las fuentes de agua que han sido captados, por el desnivel o inclinación reinante, desafiando y exponiendo en peligro la salubridad de los beneficiarios. Por lo anterior, es una preocupación tanto para las autoridades comunales, integrantes de la JASS y beneficiarios del sistema de agua; puesto que no hay ningún aval o respaldo que las fuentes de agua que usan los comuneros cumplan con los requisitos establecidos en la normativa peruana.

Entender los efectos de la idoneidad de fuentes de agua a la interrelación entre factores antrópicos y naturales sigue siendo un desafío importante, particularmente en áreas altamente alteradas (Oliveira do Nascimento et al., 2023). Sin embargo, es necesario una rápida actuación de quienes gestionan las prestaciones de saneamiento en la provincia de Hualgayoc-Bambamarca, como el ATM (Área Técnica Municipal); ya que se sabe, que no ofrecen talleres o charlas de capacitación de manera constante a quienes integran la JASS, el sistema de agua de consumo humano se halla muy descuidado y deteriorado; por otro lado, el Ministerio de Salud (MINSA) mediante sus establecimientos de atención o puestos de salud, no realizan una correcta supervisión y control del agua que dicha población; entretanto a las autoridades competentes muy poco les interesa la reconstrucción y perfeccionamiento del sistema de suministro de agua, los directivos, autoridades comunales y usuarios en general tampoco pueden hacer mucho por mejorar la calidad del agua, debido a que no cuentan con el suficiente recurso económico.

En consecuencia, es de vital interés conocer su calidad fisicoquímica y bacteriológica con el fin de asegurar su salubridad, advertir elementos de riesgos higiénicos, salvaguardar la salubridad y calidad de vida de la comunidad (Celere Meschede et al., 2018). Los hogares beneficiarios perciben la cualidad de fuentes de agua que están utilizando, concientizándose sobre el menester del consumo, cuidado razonable y técnico del líquido vital; dado que son las únicas fuentes de suministro de agua a través de red de distribución. En ese contexto, es un instrumento de soporte para la diligencia de inseguridad de la salubridad y ayuda como germen de indagación para venideros estudios; en este aspecto, se propuso como objetivo determinar la calidad de fuentes de agua para consumo humano analizando las correlaciones entre parámetros en la comunidad El Frutillo, Bambamarca-Cajamarca.

2. MÉTODO

El artículo es descriptivo comparativo, de tipo transeccional o transversal, se ejecutó en la comunidad El Frutillo, distrito Bambamarca, provincia Hualgayoc, departamento Cajamarca; cuyas coordenadas latitud Sur es 6° 42' 3.4" y longitud Oeste es 78°22' 24.5"; a 2845 m.s.n.m. Fueron 3 las estaciones de monitoreo: manantial Ojo de Agua (P1), manantial Zayapata (P2) y Pozo Tubular (P3). Efectuándose 21 tomas de muestras en 7 meses, con repetición en cada mes. Los principales equipos y materiales que se emplearon son: cámara fotográfica, termo refrigerante, kit de muestreo, multiparámetro código HANNA HI 98190 (pH/ORP) para evaluación de indicadores de campo (pH, temperatura, turbidez), GPS, lapicero tinta imborrable y libreta de campo.

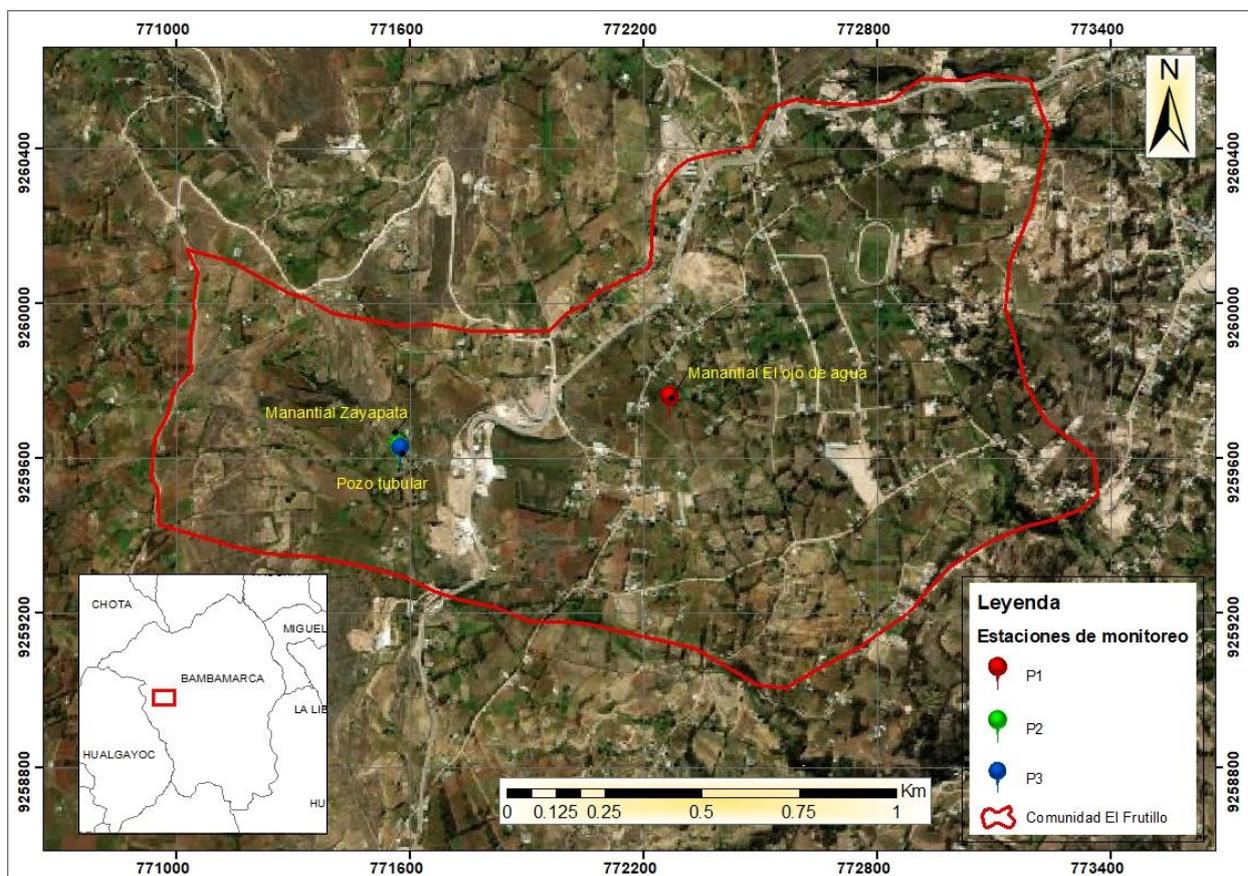
Tabla 1

Georeferenciación de las posiciones de monitoreo de fuentes de agua

Posiciones de monitoreo	Fuente de agua	Georreferenciación GW84		
		E	N	Altura (msnm)
P ₁	Manantial Ojo de Agua	772266	9259747	2772
P ₂	Manantial Zayapata	771566	9259621	2872
P ₃	Pozo Tubular	771573	9259615	2874

Figura 1

Ubicación de posiciones de monitoreo de fuentes hídricas



El método de muestreo fue de acorde a lo normado en la Resolución Directoral N° 160-2015/DIGESA/SA (2015), las muestras han sido examinadas en el Laboratorio de Agua del Gobierno Regional de Cajamarca. El procesamiento, análisis e interpretación de los reportes se hizo mediante el programa Microsoft Excel 2019; el nivel de relación se resolvió con el coeficiente de correlación de Pearson; sin embargo, con la finalidad de entender e interpretar mejor los datos se usaron los rangos (escalas) 3 y 4 de Pearson y Spearman; en ese sentido, los rangos $R < 0,5$: (mala), $0,5 \leq R < 0,8$ (buena), $0,9 \leq R < 1$: (excelente), $R = 1$: (perfecta) pertenecen a la escala 3; en tanto que, los rangos 0,0 a 0,25: escasa o nula; de 0,26 a 0,50: débil; de 0,51 a 0,75: moderada y fuerte; de 0,76 a 1,0: fuerte y perfecta corresponden a la escala 4; el valor de P: 0,38 fue menor a 0,05 (Martínez Ortega et al., 2009). Los resultados promedios de parámetros fisicoquímicos y coliformes obtenidos, fueron cotejados con los límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica y microbiológicos del Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano; además, fueron interpretadas las principales correlaciones de T° vs Coliformes totales, T° vs Coliformes termotolerantes, Turbidez vs Coliformes totales, Turbidez vs Coliformes termotolerantes, Nitratos vs Coliformes totales y Nitratos vs Coliformes termotolerantes; siendo en su totalidad correlaciones lineales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de las fuentes hídricas

La tabla 2 detalla que, la media máxima de cloruros se presentó en P1 (6,35 mg/L); tanto es así que, los resultados registrados en el manantial Ojo de Agua fue el doble y el triple respecto al contenido de cloruros en P2 y P3; lo que se interpreta, que el manantial Ojo de Agua posiblemente sea incidido por chorreamiento e infiltraciones de agua visible infectada como pozos ciegos y letrinas, por encontrarse en la parte baja, rodeada de criaderos de animales y viviendas. Una causa de ampliación en el contenido de cloruros en fuentes de hídricas es el vertido de agua doméstica (residual) hacia los manantiales (Andrekowisk Fioravanti et al., 2020); así que, de encontrarse un aumento de cloruro en el recurso hídrico, originaría el incremento en la propiedad corrosiva del agua, de tal forma que la elevada concentración de cloruros imposibilita que la fuente de agua sea usada para el suministro de los pobladores y animales (Toledo de Melo & Miranda de Queiroz, 2021). Es importante señalar que, el contenido de cloruro en el recurso hídrico natural es demasiado variante, ya que está en función de las propiedades del suelo o subsuelo por donde fluye (Fontana Gotardo et al., 2021); pero la existencia de residuos de cloro en la red de suministro ocasiona reiteradamente, extremo repudio por parte de la población usuaria; sin embargo, es primordial sostener en dicha red de distribución mínimas cantidades de cloro libre residual, confirmando de este modo, que el líquido vital fue perfectamente desinfectado. Sin duda, 0,5 ppm es el umbral de detección de sabor; ya que, la presencia de cloro en el líquido elemento de ninguna manera simboliza consecuencias negativas para los suministrados (Decreto Supremo N° 031-2010-SA, 2010).

Además, se puede apreciar que los valores de fluoruros registrados en las tres fuentes de agua para consumo humano, fueron bajos, existiendo mínimas variaciones en las concentraciones; así lo demuestran los valores promedios (tabla 2). Cabe mencionar que, la fuente de flúor de las aguas subterráneas es principalmente la disolución de minerales que contienen flúor; los minerales que contienen flúores comunes incluyen fluorita, fluorapatita, criolita y topacio; por lo que concentraciones de flúor sobre el promedio de 0,79 mg/L, causan problemas de fluorosis dental a la población (Shiping et al., 2022). El flúor es un elemento esencial para la nutrición del ser humano; su presencia en el agua de consumo a concentraciones adecuadas combate la

formación de caries dental, principalmente en los niños. Sin embargo, las altas concentraciones de fluoruros en el agua, genera manchas en los dientes y daña la estructura ósea (Gutiérrez & Alarcón-Herrera, 2021).

Referente al volumen de nitratos, el P1 tuvo 8,36 mg/L en promedio (mayor contenido), esto se debe a que dicha fuente de agua se ubica a menor altitud (parte baja), respecto a las demás fuentes de agua; interpretándose que el colapso e infiltración del agua de las letrinas, pozos ciegos, corrales de animales, cultivo y ayudado por las fuertes precipitaciones podrían haber contribuido; de modo que los altos valores registrados son trasladados por el flujo del agua, infiltrándose luego mediante el perfil del terreno, apoyados por la textura del suelo, que no tiene la aptitud de retenerlos, encontrándose concentraciones elevadas en las fuentes de agua (Guanglu et al., 2023). Tal es así que, concentraciones superiores a 10 mg/L de nitratos, señala que la fuente de agua es perjudicada por actividades antrópicas (Wong-Arguelles et al., 2021); como el funcionamiento de establos y granjas, cuyas excretas son incorporadas en terrenos arables, la incorporación de agroquímicos especialmente los nitrogenados y pesticidas en terrenos con irrigación y la existencia de cisternas sépticas (Pérez-Gómez et al., 2019); contrariamente, en condiciones naturales, el contenido o concentración de nitratos en aguas subterráneas es menor a 1mg/L, dependiendo del tipo de suelo y la disposición geológica (Morales Arredondo et al., 2020).

También influyen otros factores que alteran el contenido de nitratos en los manantiales, como la variación climatológica, la hondura de los acuíferos y constante abonamiento, ocasionando alteraciones por la infiltración de los nitratos a las fuentes hídricas (Smith et al., 2020). El daño por el consumo de agua impurificada con nitratos es principalmente intransigente en niños que muestran coloraciones azulosas en su epidermis como resultado de la anoxia en las células generada por la adhesión de nitritos en los glóbulos rojos (hemoglobina); convirtiéndola insuficiente de transferir O₂ en el plasma sanguíneo (Moschione, 2019). De este modo, en infantes que tengan edades inferiores a 6 meses y que beban agua conteniendo altas dosis de nitratos y nitritos, serían capaces de enfermarse peligrosamente de metahemoglobinemia infantil (Nascimento Santana et al., 2020). Además de eso, en féminas gestantes, el suministro de agua infectada con nitratos ocasiona abortamientos y malformaciones en el SNC de recién nacidos (Moschione et al., 2019).

Tabla 2

Máximos y mínimos de indicadores físicos y químicos de fuentes hídricas de consumo humano en la comunidad El Frutillo

Parámetros/ indicadores	Unidades	Manantial Ojo de Agua			Manantial Zayapata			Pozo Tubular			LMP			
		Mín	Máx.	□	σ	Mín.	Máx.	□	σ	Mín.		Máx.	□	σ
Color	UCV	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	15
SDT	mg/L	255,0	332,0	289,0	± 25,3	244,0	305,0	279,1	± 22,4	163,5	299,0	246,1	± 46,5	1000
Temperatura	°C	16,4	17,2	16,8	± 0,32	15,8	16,3	16,1	± 0,20	15,4	16,7	16,2	± 0,43	
Turbidez	UNT	0,11	0,38	0,22	± 0,09	0,16	1,04	0,53	± 0,29	0,11	1,40	0,45	± 0,46	5
pH	mg/L	7,29	7,77	7,46	± 0,18	7,44	7,96	7,61	± 0,21	7,53	8,08	7,86	± 0,18	6,5 a 8,5
Cloruros	mg/L	4,75	7,73	6,35	± 0,91	1,34	1,95	1,67	± 0,21	0,39	2,07	1,50	± 0,59	250
Fosfatos	mg/L	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	
Fluoruros	mg/L	0,142	0,182	0,159	± 0,02	0,147	0,221	0,179	± 0,02	0,082	0,198	0,157	± 0,04	1,0
Nitratos	mg/L	1,42	11,0	8,36	± 3,16	0,00	1,77	0,64	± 0,61	0,49	3,32	1,94	± 0,88	50
Nitritos	mg/L	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	3 Expo. corta 0,2 Expo. larga
Sulfatos	mg/L	4,43	5,97	5,21	± 0,57	1,92	2,93	2,31	± 0,35	2,41	28,10	9,15	± 9,27	250

LCM: límite de cuantificación de métodos; LMP: límite máximo permisible; SDT: sólidos disueltos totales; UCV: unidades de color verdadero; UNT: unidades nefelométricas de turbidez; σ : desviación estándar; Expo: exposición; Max: máximo; Min: mínimo; □: promedio

Tabla 3

Máximo y Mínimos de indicadores bacteriológicos de fuentes hídricas de consumo humano en la comunidad El Frutillo

Parámetros	Unidades	Manantial Ojo de Agua			Manantial Zayapata			Pozo Tubular			LMP			
		Mínimo	Máximo	□	σ	Mínimo	Máximo	□	σ	Mínimo		Máximo	□	σ
Coliformes totales	NMP/100mL	4,0	920,0	187,5	± 337,70	4,5	170,0	75,6	± 63,45	0,0	58,0	19,0	± 20,23	<1,8/100 mL
Coliformes fecales	NMP/100mL	0,0	6,8	1,5	± 2,50	0,0	11,0	3,7	± 4,17	0,0	0,0	0,0	0,00	<1,8/100 mL

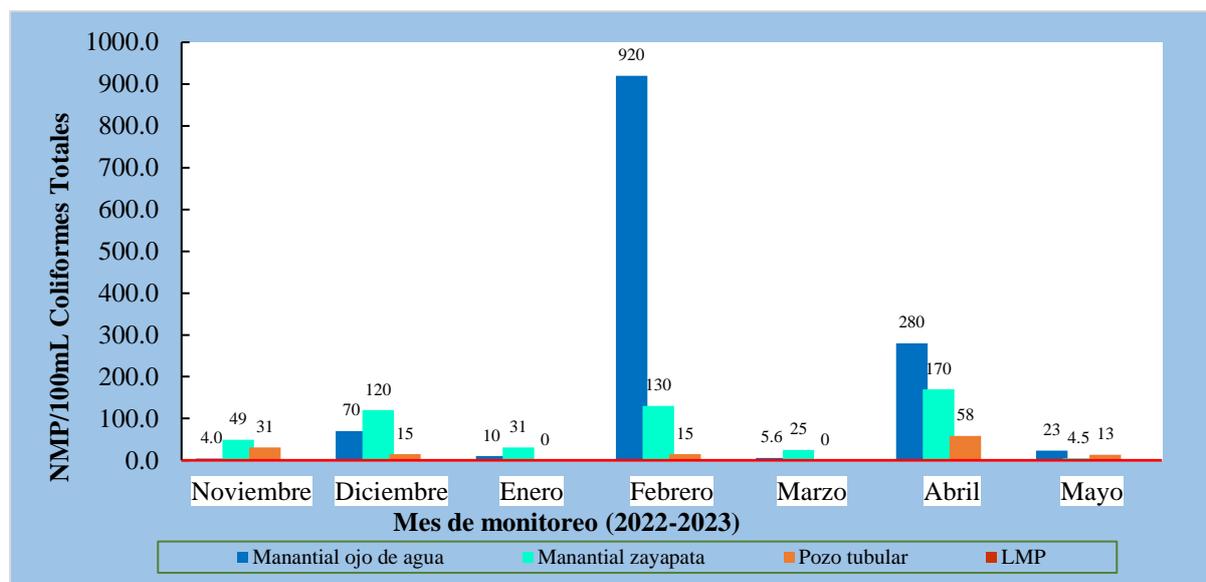
LMP: límite máximo permisible; NMP: número más probable; σ : desviación estándar



Por otro lado, en la tabla 3, figuras 2 y 3 se puede apreciar que los reportes de los indicadores bacteriológicos en las tres estaciones de muestreo se hallan afuera de los Límites Máximos Permisibles para coliformes ($1.8/100\text{mL}$) dispuestos por la normativa peruana DS N° 01-2010-SA. En este aspecto, el P1 tuvo el valor promedio más alto (920,0 NMP/100mL) de coliformes totales, consecutivamente el P2, 170,0 NMP/100mL y el P3 58,0 NMP/100mL; la elevada carga reportada en P1 y P2, probablemente sea debido a filtraciones de agua con materia fecal y/o heces, dado que las personas que habitan en las viviendas adyacentes a las fuentes de agua realizan sus necesidades fisiológicas en letrinas y pozos sépticos, no contando con servicio de desagüe, tampoco realizan una óptima gestión de sus residuos sólidos domiciliarios; además, la crianza de animales en los predios cercanos a los manantiales quizás contribuyeron a la contaminación con coliformes, ya que no se realiza un adecuado manejo de los estiércoles y las fuertes lluvias que se reportaron días antes de recabar las muestras, permitieron el colapso, conducción e infiltración de contagiantes en dirección a las fuentes hídricas (Suárez-Medina, 2020). En efecto, las alteraciones en el contenido o densidad de coliformes totales, también se debe a la localización y cualidades climáticas durante el monitoreo de las fuentes hídricas; de esta manera, la afectación del recurso hídrico es más rigurosa en periodos de fuertes precipitaciones, las cuales facilitan el traslado y lixiviación de detritos fecales apilados durante épocas secas procedentes de los seres humanos (Burgos et al., 2017).

Figura 2

Concentración de coliformes totales en fuentes de agua



En tanto, la concentración promedio de coliformes termotolerantes más alta fue en P2 con 3,7 NMP/100mL, continuo del P1 con 1,5 NMP/100mL. Evidenciándose que, en las tres fuentes hídricas existen bacterias que alteran la calidad para suministro humanitario; en relación a ello, si en el sistema de reparto de agua se detectase en una muestra colectada, la existencia de bacterias del grupo coliformes, se debería adoptar ciertas decisiones o medidas correctivas, con la finalidad de erradicar todo riesgo a la salud y avalar que el agua en esa estación contenga residuos de cloro libre no inferiores 0,5 mg/L.

Sumado a ello, se debe tomar muestras cotidianas en la estación en la que se descubrió el inconveniente, mínimamente hasta que, en 2 monitoreos sucesivos ya no exista la presencia del tipo de bacterias coliformes

(totales ni fecales). Las bacterias coliformes muchas veces se les define como organismos indicadores, ya que tienen algunas propiedades bioquímicas y son señalizadoras de la afectación del recurso hídrico y comidas (João Afonso et al., 2021). Además, las bacterias del subconjunto coliformes totales que tienen la capacidad de fermentar la lactosa a temperaturas entre los 44°C y 45°C, con generación de ácido y gas, se les denomina coliformes termotolerantes (Morales-Mora et al., 2022).

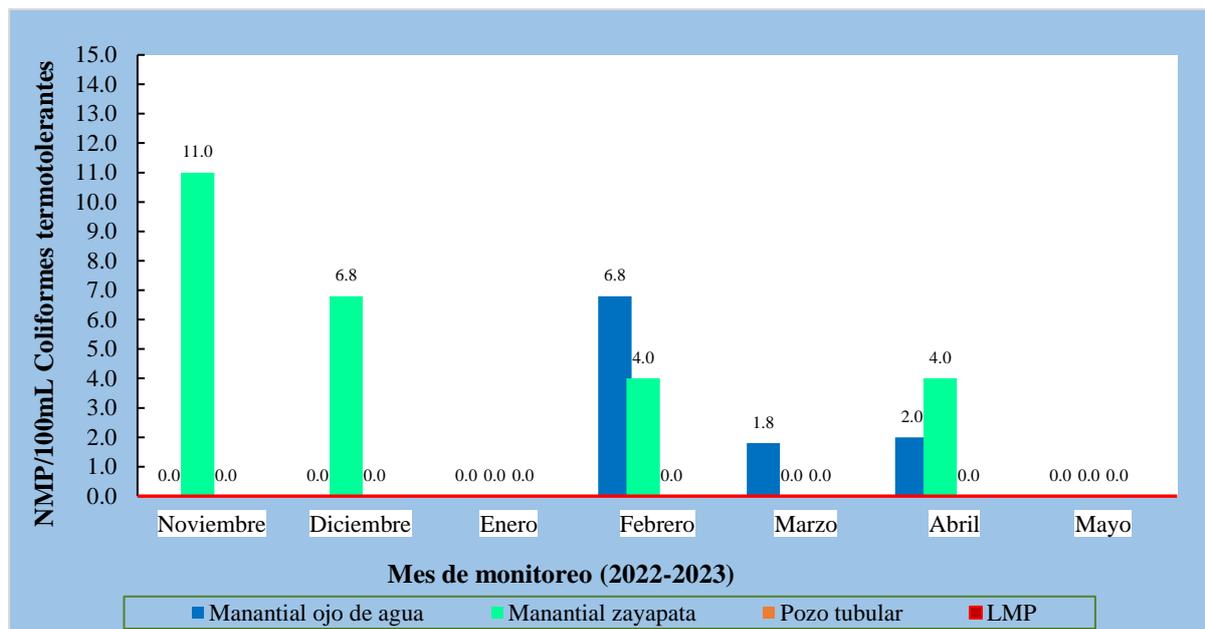
La elevada carga de coliformes reportada en los manantiales Ojo de agua y Zayapata, probablemente sea debido a filtraciones de agua con materia fecal y/o heces, dado que las personas que habitan en las viviendas adyacentes a las fuentes de agua realizan sus necesidades fisiológicas en letrinas y pozos sépticos, no contando con servicio de desagüe, tampoco realizan una óptima gestión de sus residuos sólidos domiciliarios; además, la crianza de animales en los predios cercanos a los manantiales quizás contribuyeron a la contaminación con coliformes, ya que no se realiza un adecuado manejo de los estiércoles y las fuertes lluvias que se reportaron días antes de recabar las muestras, permitieron el colapso, conducción e infiltración de contagiantes en dirección a las fuentes hídricas. En efecto, las alteraciones en el contenido o densidad de coliformes totales, también se debe a la localización y cualidades climáticas durante el monitoreo de las fuentes hídricas; de esta manera, la afectación del recurso hídrico es más rigurosa en periodos de fuertes precipitaciones, las cuales facilitan el traslado y lixiviación de detritos fecales apilados durante épocas secas procedentes de los seres humanos (Burgos et al., 2017).

Por lo tanto, los datos indican que las fuentes de agua son influenciadas por la actividad antrópica; siendo el más afectado el manantial Ojo de Agua; en consecuencia, las acciones del hombre y el desarrollo ciudadano son las primordiales causas de afectación de las fuentes de agua; por lo cual, los acuíferos pueden abarcar ecotóxicos biológicos o químicos que ocasionan diferentes afecciones a la salud (Wong-Arguelles et al., 2021).

Los valores registrados en la presente investigación tienen cierta semejanza con los datos del estudio realizado en México, cuya calidad de los manantiales “Ciénega de Tamasopo” fue de 7,0 NMP/100mL (manantial Oscuras), 28,0 NMP/100mL (manantial El Cuajo) y 21,0 NMP/100mL (manantial Plan de Juanchilote) de coliformes totales influenciado sin duda por la actividad antrópica (Wong-Arguelles et al., 2021); así mismo, con la investigación que se hizo en Santiago de Cuba sobre la calidad del manantial El Paraíso, en el que se encontró 42,0 NMP/100mL de coliformes totales, en promedio (León-Duarte et al., 2022b); también con el agua subterránea para suministro de los moradores de la zona de influencia de una batería desactivada de colocación final de residuos sólidos en Tucuruí, sureste de Pará-Brasil, la que contiene altas concentraciones de coliformes totales, razón por la cual el agua utilizada por los usuarios no es adecuada para el consumo directo (Sales e Souza et al., 2021).

Figura 3

Concentración de coliformes termotolerantes en fuentes de agua



Respecto a la presencia de bacterias fecales o termotolerantes en las fuentes hídricas, en la figura y tabla 3 se puede observar que, de los siete muestreos ejecutados en la estación P1 el 42,9% de colectas no satisface los LMP decretados en la normativa peruana, registrándose concentraciones de 6,8 NMP/100mL (mes febrero), 1,8 NMP/100mL (mes marzo) y 2,0 NMP/100mL (mes abril); de manera similar, en el P2 el 57,1% de muestras tampoco satisface los LMP, fluctuando la carga bacteriológica entre 4,0 y 11,0 NMP/100mL; En tanto que, en el P3 no se ha registrado la comparecencia de coliformes fecales. Entonces, las variaciones en la densidad de bacterias fecales, señalan que las coliformes de la porción intestinal, no estilan subsistir en el entorno fluvial, sino que se sienten reducidas a una tensión fisiológica y dejan paulatinamente la aptitud de crear colonias en hábitats di y específicos. La sensación de la radiación solar, poblaciones microbianas, estructura química y la temperatura hídrica, influyen en su rapidez de mortandad (Andrekowisk Fioravanti et al., 2022). Los sistemas sépticos, pozos ciegos, filtraciones de desagües, arrojado incontrolado de agua de letrinas, más la afectación con jabones y detergentes en sus diversas presentaciones son los procedimientos de contaminación biológica y orgánica del agua más habituales (Toledo de Melo et al., 2023). De modo que, los manantiales son contaminados severamente en las épocas lluviosas a causa del traslado y lixiviación de excretas amontonadas en tiempo de estiaje provenientes de la actividad ganadera, animales silvestres y seres humanos (Burgos et al., 2017); la fuente primordial de contaminación en periodos de verano, es el derrame de agua servidas sin tratamiento, las cuales son utilizadas para irrigar las áreas de cultivo (Wong-Arguelles et al., 2021). Entonces, las coliformes termotolerantes o fecales es y seguirá siendo un potencial peligro salubre en el recurso hídrico, puesto que originaría trastornos en la salud del hombre (Toledo de Melo & Miranda de Queiroz, 2021).

Por consiguiente, las altas concentraciones de bacterias totales y termotolerantes (fecales), demuestran el claro dominio antrópico sobre el ecosistema natural (Andrekowisk Fioravanti et al., 2022); reafirmando que, las fosas sépticas, pozos ciegos, escapes de sistema de desagüe, arrojado descontrolado de agua de letrinas, son las maneras de contaminación biológica y orgánica más cotidianas (Berendonk Handam et al., 2020); por consiguiente, su existencia además de la posible influencia en la calidad del agua, también compone un peligro

para la salubridad de quienes se suministran de este líquido vital en la comunidad rural (Wong-Arguelles et al., 2021). En tal sentido, los datos de los exámenes bacteriológicos (coliformes) demuestran que las fuentes hídricas de El Frutillo no son idóneas para abastecimiento de las personas, los cuales superan los LMP ($<1.8\text{NMP}/100\text{mL}$) del reglamento según Decreto Supremo N° 031-2010-SA (2010), demostrando claramente que las actividades antrópicas son las que influyen directamente en la calidad del recurso hídrico en la zona; siendo los más afectados el manantial Ojo de Agua y Zayapata respectivamente. Entonces, las coliformes termotolerantes o fecales son los guías sanitarios muy sustanciales de la calidad bacteriológica, sobre todo de la contaminación fecal del recurso hídrico; de modo que, su existencia de éstos y otros microbios infecciosos generarían diversas dolencias (Leite et al., 2018). Por lo mencionado anteriormente, se debería hacer hincapié en tratamiento primario de estas fuentes hídricas para uso del hombre mediante cloro residual, puesto que es un ingrediente químico bastante eficiente en la erradicación de coliformes fecales, potenciales promotores de padecimientos. Así mismo, es oportuno instruir a los comuneros, que se debe hervir el agua antes de ingerirla (Wong-Arguelles et al., 2021); siendo necesario monitorear constantemente los parámetros de calidad de las fuentes hídricas, las mismas que son suministradas a la población, evitando así posibles contaminaciones y daños a la salud de quienes lo utilizan (João Afonso et al., 2021).

Correlaciones

La tabla 4 evidencia la correlación de indicadores físicos, químicos y bacteriológicos; tal es así que, el coeficiente de correlación en el P1 entre pH y coliformes totales es $-0,158$; De manera similar es la correlación, en el P2 ($-0,017$) y en el P3 ($-0,042$); interpretándose que hay una correlación inversa, mala, escasa o nula, en consecuencia, mientras más bajos sean los datos de pH más altos son las concentraciones de coliformes totales. Además, la correlación entre pH y coliformes termotolerantes en el P1 es $0,907$; lo que se interpreta que hay una correlación directa excelente, entre fuerte y perfecta; en tanto que, en el P2 la correlación es directa entre buena, moderada y fuerte ($0,720$); en consecuencia, mientras más elevados sean los datos de pH más altos son las concentraciones de coliformes termotolerantes. En el P3 no existe ninguna correlación entre los parámetros antes mencionados. Por esta razón, se recomienda que los valores de pH deben estar dentro de 6,5 a 8,5 unidades, justificados en principios ambientales. Por lo que, registros de pH bastante inferiores o superiores al LMP, posiblemente indiquen afectación actual con agua servidas o residuales; así mismo, el dióxido de carbono (CO_2) elaborado por las coliformes tienen a que el pH se neutralice (Wong-Arguelles et al., 2021).

Respecto al coeficiente de correlación entre temperatura (T°) y coliformes totales en el P1 fue de $-0,489$ y en el P2 es de $-0,357$, lo que indica que hay una correlación inversa dentro de mala y débil; lo que sugiere que mientras más bajo es el valor de la T° , más alto es el valor de coliformes totales. Sin embargo, la correlación en el P3 es directa, entre mala y escasa o nula ($0,252$). Además, la correlación entre las variables T° y coliformes termotolerantes, en el P1 es directa, entre mala y escasa o nula ($0,035$); mientras que en el P2 la correlación es inversa entre mala y débil ($-0,291$); no existiendo correlación en el agua del P3. Entonces, de alguna forma el contenido de bacterias coliformes se siente afectadas por las temperaturas bajas reportadas en el lugar de la investigación; contrariamente, las elevadas temperaturas generarían una multiplicación de microbios, los cuales causarían inconvenientes en el color, olor, sabor y corrosión (Toledo de Melo & Miranda de Queiroz, 2021).

Tabla 4

Correlación de indicadores fisicoquímicos y bacteriológicos en las fuentes de agua

Parámetros/indicadores	Coeficiente de correlación (r)		
	Manantial Ojo de agua	Manantial Zayapata	Pozo Tubular
pH vs Temperatura	0,206	-0,026	-0,143
pH vs Turbidez	-0,393	0,633	0,609
pH vs Sólidos Disueltos Totales	0,207	-0,715	-0,474
pH vs Nitratos	0,081	-0,534	-0,572
Temperatura vs Turbidez	-0,727	-0,157	0,100
Temperatura vs Sólidos Disueltos Totales	-0,627	0,125	0,491
Temperatura vs Nitratos	0,287	0,395	0,831
Turbidez vs Sólidos Disueltos Totales	0,408	-0,884	-0,855
Turbidez vs Nitratos	-0,677	0,056	-0,297
pH vs Coliformes totales	-0,158	-0,017	-0,042
pH vs Coliformes termotolerantes	0,907	0,720	0,000
T° vs Coliformes totales	-0,489	-0,357	0,252
T° vs Coliformes termotolerantes	0,035	-0,291	0,000
Turbidez vs Coliformes totales	0,878	0,135	-0,013
Turbidez vs Coliformes termotolerantes	0,975	0,252	0,000
Nitratos vs Coliformes totales	-0,870	-0,084	0,157
Nitratos vs Coliformes termotolerantes	-0,980	-0,430	0,000
Sulfatos vs Coliformes totales	-0,451	-0,251	0,019
Sulfatos vs Coliformes termotolerantes	-0,658	0,953	0,000

En cuanto al coeficiente de correlación entre las variables turbidez y coliformes totales en el P1 es 0,878, por lo que la correlación es directa, entre fuerte y perfecta; interpretándose que cuanto más elevadas sean las Unidades Nefelométricas de Turbidez, más altas son las concentraciones de bacterias coliformes. Sin embargo, el coeficiente de correlación en el P2 es 0,135, señalando la existencia de una correlación directa entre mala y escasa (nula). En el P3 el coeficiente de correlación es -0,013 estableciendo una correlación inversa y mala o nula entre escasa o nula (-0,013). Por otra parte, en el P1 el coeficiente de correlación entre los indicadores turbidez y coliformes termotolerantes es 0,975; indicando la existencia de una directa y excelente correlación, entre fuerte y perfecta; infiriendo que, cuanto más elevadas sean las Unidades Nefelométricas de Turbidez, más altas serán las concentraciones de bacterias coliformes termotolerantes. Sin embargo, los resultados de la correlación en el P2 indican una correlación directa y mala, entre escasa o nula (0,252). Además, según los datos registrados en el P3, no existe correlación. Es importante señalar, que la turbidez es un indicador sanitario de mucha consideración; de ahí que, mientras más bajos sean unidades de turbidez, inferior será el contenido de bacterias, protozoos y demás, existentes en el agua; así mismo, las fracciones que ocasionan la turbidez pueden generar dificultades en el procedimiento de limpieza con cloro; puesto que dichos microbios pueden ligarse en el área de las partículas (Martínez-Orjuela et al., 2020).

Además, la tabla 4 evidencia que el coeficiente de correlación entre las variables nitratos y coliformes totales en el P1 es -0,870, por lo que la correlación es inversa, entre fuerte y perfecta; interpretándose que cuanto más elevados sea la concentración de nitratos, más baja es la carga de bacterias coliformes. Sin embargo, la correlación en P2 es -0,084, señalando la existencia de una correlación inversa entre mala y escasa (nula) y en P3 el coeficiente de correlación es 0,157 estableciendo una correlación directa y mala, entre escasa o nula. En

el P1 la correlación entre nitratos y coliformes termotolerantes es $-0,980$ y en el P2 la correlación es $-0,430$, evidenciando correlaciones inversas, lo que establece que menores contenidos de nitratos en las fuentes de agua, mayores concentraciones de coliformes termotolerantes. No existió correlación en el P3. En efecto, la existencia de nitratos en las fuentes de agua para consumo humano resulta perjudicial para la salubridad, básicamente en niños menores de un año; la contaminación del agua de bebida humana originada por los agroquímicos como los plaguicidas y nitratos componen un problema adicional y ascendente (Pérez-Gómez et al., 2019); confirmando que el uso de las tierras agrícolas tienen un gran impacto en la calidad de las fuentes hídricas, dado los agrotóxicos aplicados y el estiércol probablemente se filtren al acuífero, con mayor intensidad durante las estaciones de invierno, perjudicando la calidad del agua subterránea (Smith et al., 2020); la descomposición y acumulación de residuales orgánicos, también ayudan a incrementar la concentración de nitratos, mientras que la presencia de coliformes totales y termotolerantes se debe al inadecuado tratamiento de aguas residuales tanto domesticas como de las vaquerías (Pérez-Gómez et al., 2019).

En consecuencia, los parámetros fisicoquímicos son determinantes sobre las concentraciones bacteriológicas, por ejemplo, el pH es un indicador esencial que influye sobre el crecimiento de las coliformes; puesto que, algunas bacterias crecen generalmente a pH reducidos (3.0); sin embargo, la escala óptima de pH para bacterias es de 6,0 a 8,5; pocas prefieren pH superiores a 8,5 (Lora-Suarez et al., 2022); la concentración de coliformes también está asociada al factor temperatura; los rangos óptimos de crecimiento de las coliformes totales se encuentra alrededor de 35 a 37°C, del mismo modo, las coliformes fecales están caracterizadas por un crecimiento rápido a temperaturas de 41°C (Crespo-Lambert et al., 2022). Los elevados niveles de turbidez pueden conducir a una infravaloración en el recuento bacteriano por el método del número más probable; entonces, alto contenido de turbidez (materia orgánica) suelen ser paralelos a la detección de concentraciones elevadas de coliformes totales. Además, la desinfección con cloro pierde eficacia frente a reportes elevados de turbidez; dado que, investigaciones establecen rangos de 3,8 a 84,0 UNT, en el cual hallaron coliformes con cloro residual libre entre 0,1 y 0,5 mg/L con un contacto mínimo de 30 minutos (Gonzales Saenz et al., 2023).

El escaso mantenimiento y falta de cerco perimétrico en las tres fuentes de agua es una probable explicación de la contaminación bacteriana en la mayoría muestras. La contaminación con coliformes totales y termotolerantes, especialmente durante la temporada de lluvias, sin duda expone a los usuarios a riesgos de enfermedades diarreicas, el cólera, disentería, hepatitis, fiebre tifoidea, etc. En ese sentido, para esquivar estas responsabilidades, la JASS tienen que instalar sistemas de coloración en sus tanques de abastecimiento del líquido vital, así como implantar una rutina de limpieza y desinfección de los reservorios de agua apoyados en las recomendaciones de la DIGESA. Además, se sugiere continuar investigando nuevos microorganismos como la *Escherichia coli*, el virus de la hepatitis A y el *Cryptosporidium*, no solamente en las fuentes, sino en todo el sistema de agua de la comunidad El Frutillo.

Esta investigación fomentará futuras intromisiones en el campo de la salud pública y ambiental en esta provincia. Además, los reportes ayudarán a la gestión del recurso hídrico en la zona, constituyéndose como una herramienta muy valiosa para guiar políticas públicas de mejora del bienestar social y ambiental de dicha comunidad.

4. CONCLUSIONES

La calidad fisicoquímica de las fuentes de agua para consumo humano en la comunidad el Frutillo, Bambamarca-Cajamarca es buena; pero la calidad bacteriológica es de mala calidad, no siendo apta para suministro de la

población; así lo evidencian las correlaciones, puesto que, a mayores contenidos de pH, turbidez y temperatura, mayor es la concentración de coliformes. Sin embargo, a mayor carga bacteriana, la concentración de nitratos disminuye, esto puede explicarse por la pérdida de nitrato por desnitrificación y la tasa de la asimilación de nitratos para la síntesis de aminoácidos y proteínas.

La falta de cerco perimétrico en las tres fuentes de agua, la antigüedad del sistema, las fuertes precipitaciones, la crianza de animales domésticos y el vertimiento de residuos muy cerca de las captaciones puede estar afectando la calidad bacteriológica.

Conflicto de intereses / Competing interests:

Los autores declaran que no incurre en conflictos de intereses.

Rol de los autores / Authors Roles:

Ismael Suárez-Medina: conceptualización, escritura - preparación del borrador original, curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, software.

Ana Guerrero-Padilla: Análisis formal, metodología, supervisión, validación, visualización, escritura - preparación del borrador original, escritura -revisar & edición.

Fuentes de financiamiento / Funding:

Los autores declaran que no recibieron un fondo específico para esta investigación.

Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.

REFERENCIAS

- Andrekowisk Fioravanti, M. I. A., Leuteviler Pereira, P. H. L., Leuteviler Camargo, L., Villela, G., & Azevedo Mazon, E. M. (2022). Panorama da água de abastecimento da região de Campinas e uma breve comparação com outras regiões do Sudeste do Brasil. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 17(4), 3-10. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2835>
- Andrekowisk Fioravanti, M. I., Leuteviler Pereira, P. H., Moraes Marciano, M. A., Lacerda Sanches, V., Franco Ferreira, C. de O. & De Azevedo Mazon, E. M. (2020). Monitoramento e avaliação da qualidade da água de solução alternativa coletiva de abastecimento de escolas públicas do município de Itatiba, SP. *Vigilancia En Salud En Debate: Sociedad, Ciencia Y Tecnología*, 8(2), 122-133. <https://doi.org/10.22239/2317-269X.01460>
- Andueza, F., Ibaza, D., Arciniegas, S., Parra, Y., Escobar, S., Ramírez, A. C., Medina, G., & Araque, J. (2020). Microbiological quality of the water of the mineromedicinal springs of the spa Santagua de Cachimbiro. Imbabura. Ecuador. *Revista Perspectiva*, 21(1), 59-70.
- Berendonk Handam, N.B., Albuquerque dos Santos, J. A., Almeida de Moraes Neto, A. H., Leal Alencar, M., Ferraz Ignacio, C. F., & Sotero-Martins, A. (2020). Qualidade da água para consumo humano em favelas urbanas Brasileiras. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15(3), 1-11. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2532>

- Burgos, A. L., Alvarado Bautista, M., Paez Bistrain, R., & Hernández Morales, R. (2017). Patrones espacio temporales de la condición microbiológica del agua de fuentes comunitarias y amenazas a la salud familiar en cuencas estacionales del Bajo Balsas (México). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 199-213. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.02>
- Celere Meschede, M. S., Ribeiro Figueiredo, B., Da Silva Alves, R. I., & Segura-Muñoz, S. I. (2018). Drinking water quality in schools of the Santarém region, Amazon, Brazil, and health implications for school children. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(6), 1-19. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2218>
- Crespo-Lambert, M., Fernández-Rodríguez, M., & Pérez-García, L.A. (2022). Evaluación de la Calidad del agua para consumo humano en el poblado de Yamanigüey según ICA de Montoya. *Minería y Geología*, 38(2), 158-168. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223574523005>
- Decreto Supremo N° 031-2010-SA de 2010. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. 26 de setiembre de 2010.
- Estupiñán-Torres, S. M., Ávila de Navia, S. L., Barrera Aguirre, D., Baquero Torres, R., Díaz Ibañez, D. A., (2019). Bacteriological and physical characteristics and pH of water for human consumption in the municipality of Une-Cundinamarca. *Revista NOVA*, 18(33), 101-112. <https://doi.org/10.22490/24629448.3702>
- Fontana Gotardo, D. L., Miranda Queiroz, T., Lima da Silva, J., & Toledo de Melo, M. (2021). Qualidade da água do Riacho Bonitinho na aldeia Formoso, uma reserva natural do estado de Mato Grosso-Brasil. *Revista Ibero americana de Ciências Ambientais*, 12(2), 134-145.
- Gonzales Saenz, W., Acharte Lume, L. M., Poma Palacios, J. C., Sánchez Araujo, V. G., Quispe Coica, F.A., & Meseguer Pallares, R. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 25(1), 23-31. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.486>
- Guanglu, Z., Haiyan, L., Huaming, G., Zhanxue, S., Zhen, W., & Tonghang, W. (2023). Ocurrencias y riesgos para la salud de aguas subterráneas con alto contenido de nitratos en áreas típicas de piedemonte de la llanura del norte de China. *Revista Fronteras de las ciencias de la tierra*, 30(4): 485-503. <https://doi.org/10.13745/j.esf.sf.2023.2.53>
- Gutiérrez, M., & Alarcón-Herrera, M.T. (2022). Fluoruro en aguas subterráneas de la región centro norte de México y su posible origen. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 389-397. <https://doi.org/10.20937/RICA.54307>
- João Afonso, S. D., de Assunção Fernandes, L., & Parra Serrano, L. R. (2021). Evaluation microbiological of the water of the city of Huambo, Angola. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2), 33-38. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586266250005>
- Leite, N. K., Stolberg, J., da Cruz, S. P., Tavela, A., Safanelli, J. L., Marchini, H. R., Exterkoetter, R., Leite, G. M. C., Krusche, A. V., & Johnson, M. S. (2018). Hidroquímica de aguas subterráneas poco profundas y manantiales utilizados para suministro potable en el sur de Brasil. *Revista Ciencias Ambientales de la Tierra*, 77(3), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7254-4>

- León-Duarte, L., Arada Pérez, M de los A., Blázquez Cutiño, M., & Segura Falcón, E. (2022a). Evaluation of the water quality of the well of the “Soledad” community of the city II Frente, Santiago de Cuba. *Revista Afinidad IQS*, 79(596), 338-342. <http://dx.doi.org/10.55815/400728>
- León-Duarte, L., Arada-Pérez, M. A., Vila-Torres, L., Fernández-Estrada, A., & Chibinda, C. (2022b). Evaluation of the water quality of the spring “El Paraíso” in Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 34(2), 303-314. <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5247>
- Lora-Suarez, F. M., Sierra-Rengifo, L., & Loango-Chamorro, N. (2022). Identificación de parásitos y bacterias asociados a fuentes de agua en la zona rural del municipio de Circasia, Quindío. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 34(4), 48-61. <https://doi.org/10.33975/riuv.vol34nS4.1024>
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L.C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El Coeficiente de Correlación de los Rangos de Spearman Caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 1-20. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180414044017>
- Martínez-Orjuela, M. R., Mendoza-Coronado, J. Y., Medrano-Solís, B. E., Gómez-Torres, L. M., & Zafra-Mejía, C. A. (2020). Evaluation of turbidity as a parameter indicator of treatment in a drinking water treatment plant. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15-24. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias/article/view/9929/10063>
- Morales Arredondo, I., Flores Ocampo, I. Z., Armienta, M. A., Morán Ramírez, J., Hernández Hernández, M. A., & Landa Arreguin, J. F. (2020). Identificación de las fuentes de nitratos mediante métodos hidrogeoquímicos e isotópicos en el agua subterránea del Bajío Guanajuatense. *Revista Geofísica Internacional*, 59(3), 169-194. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2020.59.3.2093>
- Morales-Mora, E., Reyes-Lizano, L., Barrantes-Jiménez, K. & Chacón-Jiménez, L. (2022). Temporal and spatial assessment of the surface water microbiology quality: A case in a human consumption water supply system in Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 120-137. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.6>
- Moschione, E. (2019). Calidad de Aguas para Consumo Humano: Presencia de Nitrato en Aguas Subterráneas. Revisión del estado de situación. *Revista Tecnología y Ciencia*, (26), 1-7. <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/458>
- Nascimento Santana, A., Kawagoe Suda, C. N., Santana Nascimento, J., & Sree Vani, G. (2020). Physical-chemical and microbiological analysis of water from shallow wells in Imperatriz (MA), Brazil. *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15(7), 1-10. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2538>
- Oliveira do Nascimento, R., Romeiro Araújo, S., Veloso Sodré, S. S., Maciel Freitas, K., & Chaves Alves, A. (2023). Characterization of water quality and the effects of land use and seasonality on springs in eastern Amazonia. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 18, 1-15. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2909>
- Pérez-Gómez, L. M., Guerrero-Posada, P., & Suarez-Acuña, M de la C. (2019). Calidad del agua subterránea en el municipio Jimaguayú. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(3), 3-9.

- Resolución Directoral N.º 160-2015/DIGESA/SA de 2015. Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano. 24 de setiembre de 2015.
- Sales e Souza, D. E., Carvalho Mendes, A., Nunes Franco, L., Silva Araújo, A., & Hiroyuki Ishihara, J. (2021). Qualidade da água subterrânea para consumo humano em área de influência de lixão desativado. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 14(2), 747-766. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.2.72789>
- Shiping, X., Huaming, G., Ping, W., Xueda, H., Zhen, Z., & Youjing, Y. (2022). Proceso de distribución y formación de aguas subterráneas con alto contenido de fluoruro en diferentes tipos de grupos acuíferos en la cuenca Hualong-Xunhua. *Revista Fronteras de las Ciencias de la Tierra*. 29(3), 115-128. <https://doi.org/10.13745/j.esf.sf.2022.1.34>
- Smith, D. N. I., Ortega-Camacho, D., Acosta-González, G., Leal-Bautista, R. M., Fox, W., & Cejudo, E. (2020). A multi-approach assessment of land use effects on groundwater quality in a karstic aquifer. *Revista Heliyon*, 6, 6-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03970>
- Sória, M., Quevedo Tavares, V. M., Brito Pinto, M. A., Stumpf, L., Zarnott, D., Bubolz, J., & Gomes Nörenberg, B. (2020). Evaluación de parámetros físico-químicos del agua en una cuenca hidrográfica del sur de Brasil. *Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 15(5), 1-11. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2596>
- Suárez-Medina, I. (2020). Calidad del agua de consumo humano influenciada por aguas servidas. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 3(1), 80-89. <https://doi.org/10.37518/2663-6360X2020v3n1p80>
- Toledo de Melo, M., & Miranda de Queiroz, T. (2021). Qualidade da Água na Proteção das Comunidades Aquáticas na Terra Indígena Rio Formoso, em Tangará da Serra-MT Região de transição entre os Biomas Cerrado e Amazonia. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 10(3), 66-77. <https://doi.org/10.21664/22388869.2021v10i3.p66-77>
- Toledo de Melo, M., Miranda de Queiroz, T. M., & Oliveira Aroni, B., (2023). Caracterização das fontes, dos usos e da percepção da qualidade da água na terra indígena rio Formoso, em Tangará da Serra/MT¹. *Caderno CRH*, 36, 1-11. <https://doi.org/10.9771/ccrh.v36i0.32085>
- Wong-Arguelles, C., Alonso-Castro, A. J., & Carranza-Álvarez, C. (2021). Calidad del agua de los manantiales del humedal natural "Ciénaga de Tamasopo" en San Luis de Potosí, México. *Revista Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(6), 1-35. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-06-01>