Artículo original

Calidad sanitaria del agua de uso doméstico según indicadores microbiológicos y químicos, en Pacasmayo, Perú

Sanitary Quality of Water for Domestic Use Based on Microbiological and Chemical Indicators in Pacasmayo, Peru

Helen Rivera Tejada[1*] https://orcid.org/0000-0003-2622-8073

Nélida Milly Otiniano[2] https://orcid.org/0000-0001-9838-4847

Jessica Vicuña Villacorta[1] https://orcid.org/0000-0002-8121-3790

Miguel Muñoz Ríos[3] https://orcid.org/0000-0001-7294-4287

[1]Universidad César Vallejo, Dirección de Investigación. Trujillo, Perú.
[2]Universidad César Vallejo, Institutos y centros de Investigación. Trujillo, Perú.
[3]Universidad César Vallejo, Escuela de Enfermería. Trujillo, Perú.

[*]Autor para la correspondencia: hsriverat@ucvvirtual.edu.pe

RESUMEN

Introducción: El acceso al agua libre de contaminantes es fundamental para proteger la salud pública.

Objetivo: Evaluar la calidad sanitaria del agua de uso doméstico, según indicadores microbiológicos y químicos, en la ciudad de Pacasmayo.

Métodos: Se recolectaron 24 muestras en total: 12 provenientes de la zona centro y 12 de la zona alta del distrito de Pacasmayo. Se determinaron los valores de pH, la concentración de cloro y los recuentos de indicadores de contaminación microbiológica como bacterias heterotróficas, coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*.

Resultados: Todas las muestras presentaron valores de pH dentro del rango permitido (7-8,4). En la zona centro, la concentración de cloro fue menor a 0,5 ppm y la mayoría de las muestras mostró recuentos de bacterias coliformes y *Escherichia coli* superiores a los estándares permitidos (< 1,8 MNP/ml). Además,

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

las bacterias heterotróficas superaron los 500 UFC/ml. Por el contrario, en la zona alta, la mayor parte de las muestras cumplieron con los estándares físico-químicos y microbiológicos establecidos.

Conclusiones: La presencia de *Escherichia coli* es un indicador específico de contaminación fecal y evidencia un tratamiento de potabilización inadecuado, lo que constituye un riesgo significativo para la salud pública.

Palabras clave: microbiología del agua; agua potable; bacterias coliformes; bacterias heterótroficas.

ABSTRACT

Introduction: Access to contaminant-free water is essential for protecting public health.

Objective: To evaluate the sanitary quality of water for domestic use, based on microbiological and chemical indicators, in the city of Pacasmayo.

Methods: A total of 24 samples were collected: 12 from the central area and 12 from the upper area of the Pacasmayo district. pH values, chlorine concentration, and counts of microbiological contamination indicators, such as heterotrophic bacteria, total coliforms, thermotolerant coliforms, and Escherichia coli, were determined.

Results: All samples showed pH values within the permitted range (7- 8.4). In the central area, the chlorine concentration was below 0.5 ppm, and most samples showed counts of coliform bacteria and Escherichia coli that exceeded the permitted standards (< 1.8 MPN/ml). Furthermore, heterotrophic bacteria counts exceeded 500 CFU/ml in most samples. In contrast, most samples from the upper area met the established physicochemical and microbiological standards.

Conclusions: The presence of Escherichia coli is a specific indicator of fecal contamination and points to inadequate water treatment, which poses a significant risk to public health.

Keywords: water microbiology; drinking water; coliform bacteria; heterotrophic bacteria.

Recibido: 02/12/2025

Aceptado: 27/01/2026

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Introducción

El agua es un recurso esencial para la vida y la salud humana, y su acceso en condiciones potables, limpias y seguras constituye un derecho humano reconocido por las Naciones Unidas y la comunidad europea.[1,2] Este derecho implica también garantizar la accesibilidad para los grupos vulnerables, que suelen presentar limitaciones por carencias o deficiencias en la infraestructura de saneamiento.[3] Asimismo, la calidad del agua es fundamental para asegurar un suministro adecuado y servicios de saneamiento compatibles con la meta seis de los Objetivos de Desarrollo Sostenible establecidos en 2018.[4]

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomiendan aplicar normas oficiales para garantizar la calidad del agua de consumo, asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de abastecimiento y establecer mecanismos de vigilancia permanente. En el Perú, considerando accesibilidad, disponibilidad y ausencia de contaminación, el agua es accesible en la vivienda en un 84 % a nivel nacional (67 % en zonas rurales y 89 % en urbanas). La disponibilidad alcanza el 73 % nacional, mientras que el agua libre de contaminación solo representa el 50 % en el país, con marcadas diferencias entre áreas rurales (20 %) y urbanas (58 %).[1]

El monitoreo de la calidad del agua es prioritario en numerosos países. En Colombia, una evaluación de la autoridad sanitaria encargada del control del agua reveló la necesidad de articular acciones con los sectores ambiental, agrícola e industrial, así como promover la participación comunitaria para mejorar la calidad del recurso.[2] En La Libertad, Perú, la empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado Sociedad Anónima (SEDALIB S.A.) implementó un tablero de control para optimizar su operación, con lo que logró incrementos de eficiencia de más del 9 % en 2020.[3] Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), esta región presenta un 75 % de acceso al agua y saneamiento básico.[5]

A nivel mundial, los principales contaminantes del agua incluyen:

- Metales pesados
- Flúor
- Nitratos
- Agentes microbianos[6]

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Por ello, la vigilancia microbiológica ha sido ampliamente estudiada. En Nicaragua, el 67 % de las muestras analizadas presentaron manganeso por encima de los límites permitidos; todas resultaron positivas para coliformes termotolerantes y en algunas se detectaron plaguicidas.[7] En Yucatán, México, más del 80 % de los pozos analizados superaron los límites de coliformes totales o fecales, y el 34 % mostró contaminación fecal.[8]

En instituciones educativas de Tepatitlán, Jalisco, solo el 9% cumplía con los parámetros de cloro libre residual y se identificaron coliformes totales en el 32 % de las muestras sin cloro, así como *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella* spp. y *Pseudomonas* sp.[9] En San Cosme, Argentina, se detectó *Pseudomonas aeruginosa* en todas las fuentes analizadas, especialmente en el agua superficial, lo que las clasifica como no aptas para el consumo, según los criterios del Código Alimentario Argentino.[10]

En Ecuador, solo la red municipal de Ulba cumplió con los límites permitidos de coliformes, mientras que en otras localidades se superaron los estándares, por lo que se clasificó el agua como no potable.[11] En Perú, un estudio en Cajamarca, Huancavelica y Huánuco reportó coliformes totales en más del 60 % de las muestras y mayores frecuencias de *Escherichia coli* en Cajamarca (72 %), seguidas por Huancavelica (37 %) y Huánuco (18 %), con porcentajes muy reducidos de agua de buena calidad.[12] En Huancavelica, otra evaluación mostró que solo una estación presentó valores bajos de coliformes, mientras que en las demás la calidad se clasificó como media, lo que evidencia riesgo potencial de enfermedades hídricas.[13]

La contaminación del agua se relaciona también con prácticas domésticas. Un estudio en hogares rurales y urbanos identificó contaminación cruzada significativa y un alto riesgo de coliformes termotolerantes (OR 2,5) y *Escherichia coli* (OR 14,5).[8] Entre las actividades humanas que más contribuyen a la contaminación se encuentran:

- La agricultura
- La disposición inadecuada de aguas residuales
- El manejo deficiente de residuos sólidos.[14]

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

La higiene doméstica, especialmente el lavado adecuado de manos, es esencial para reducir enfermedades diarreicas, lo que coincide con la teoría de Orem sobre el autocuidado y la importancia del agua segura.[11,15]

La calidad del agua depende de su uso, por lo que las normas deben ajustarse a cada fin específico.[16,17,18] Su monitoreo es clave para prevenir enfermedades infecciosas hídricas como cólera, fiebre tifoidea, diarrea aguda y disentería.[19] Estas afecciones suelen ser causadas por parásitos y bacterias como *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella* y *Shigella*, transmitidas mediante agua no tratada.[2]

En Pacasmayo, Perú, el suministro de agua destinado al consumo humano es deficiente y se realiza de forma intermitente mediante camiones cisterna, con calidad inadecuada. Esto subraya la necesidad de una vigilancia constante, que permita prevenir enfermedades asociadas a microorganismos patógenos, contaminantes químicos, metales pesados o vectores.[19,20]

Una gestión adecuada, junto con distribución eficiente y vigilancia continua, es esencial para alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible que propone lograr el acceso universal y equitativo al agua potable para 2030. El agua segura debe estar libre de agentes patógenos y contener concentraciones mínimas de contaminantes.[21]

El presente estudio es relevante porque el análisis de la calidad sanitaria del agua permitirá a las autoridades formular estrategias eficaces de promoción de salud y mitigación del riesgo de enfermedades hídricas. Por ello, el objetivo fue evaluar la calidad sanitaria del agua de uso doméstico según indicadores microbiológicos y químicos en la ciudad de Pacasmayo.

Métodos

Diseño de estudio

Se realizó una investigación con enfoque cuantitativo y diseño descriptivo de corte transversal.

Ámbito de investigación

El estudio se desarrolló en el distrito de Pacasmayo, ubicado en la provincia homónima, región La Libertad, Perú, con coordenadas S 7° 8' 27.24'' y O 76° 31' 27.12''. La ciudad limita al norte con Jequetepeque, al sur con San Pedro de Lloc,

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

al este con San José y al oeste con el océano Pacífico. Su extensión territorial es de 30,84 km² y sus principales actividades económicas incluyen la industria del cemento, la avicultura, el cultivo de arroz y el turismo.

Toma de muestras

Las muestras se recolectaron durante los meses de febrero y marzo de 2024 en dos sectores: Pacasmayo centro y zona alta, con 12 muestras por área, siguiendo los criterios establecidos por BOE-A-2023-628.[22] Se obtuvieron aproximadamente 200 ml de agua en frascos estériles de 250 ml. Durante la recolección se determinó el cloro residual y el pH mediante el *kit* colorimétrico para análisis de cloro y pH marca JED. A las muestras con cloro residual se añadió 1 ml de tiosulfato de sodio 1 M. Posteriormente, se conservaron en refrigeración y se trasladaron al laboratorio para los análisis microbiológicos.

Variable de estudio

Se tuvo en cuenta la siguiente variable:

- Calidad sanitaria del agua, al considerar las dimensiones y tomar en cuenta como límites permisibles de los indicadores:
  - pH: valores de pH de 6,5-8,5
  - cloro residual: 0,5 a 5 ppm
  - calidad microbiológica:
    - coliformes totales y termotolerantes: < 1,8 NMP/100 ml a 44,5 °C
    - *Escherichia coli*: <1,8 NMP/100 ml a 44,5 °C
    - bacterias heterotróficas: < 500 UFC/ml a 35 °C

Estos valores corresponden a los límites permitidos por el Reglamento de la Calidad de Agua para el Consumo Humano del Ministerio de Salud del Perú.[23]

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Análisis microbiológico[24]

Recuento de coliformes totales

Se prepararon tubos con caldo verde brillante-bilis-lactosa (BRILA) y campanas Durham invertidas, esterilizados en autoclave a 121 °C por 15 minutos. Las muestras se inocularon empleando la técnica del número más probable (NMP) y se incubaron a 35 °C durante 24 horas. La producción de gas indicó resultados positivos, que se interpretaron mediante la tabla del NMP para estimar coliformes totales (NMP/100 ml), siguiendo el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.[25]

Recuento de coliformes termotolerantes

De los tubos presuntamente positivos, se tomó 0,1 ml para inocular caldo lauril sulfato y caldo E.C., e incubar a 45 °C por 24-48 horas. La presencia de gas determinó resultados positivos y se estimó la concentración mediante la tabla del NMP.[25]

Recuento de bacterias heterótrofas

Se empleó la técnica de recuento en placa con *plate count agar* (PCA). Se prepararon diluciones decimales hasta 10^{-3} y se sembró 1 ml por vertido en placa. Las placas se incubaron a 35 °C durante 24 horas y se calcularon las UFC/ml multiplicando el número de colonias por el inverso de la dilución.

Detección de *Escherichia coli* mediante siembra y pruebas IMViC[24]

A partir de los tubos de caldo para *Escherichia coli* positivos, se realizó siembra por estría en agar eosina azul de metileno (EMB) e incubación a 35 °C durante 24 horas. Las colonias negro-azuladas con brillo metálico se sometieron a coloración de Gram y, posteriormente, a pruebas bioquímicas IMViC, para la identificación presuntiva de *Escherichia coli*.

En el a*gar citrato* se evaluó el cambio de color del medio; *Escherichia coli* fue citrato negativa. En el c*aldo triptona s*e añadió el reactivo de Kovacs para la detección de indol; *Escherichia coli* fue indol positivo.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

El caldo Voges-Proskauer rojo de metilo (VPRM) se dividió para la realización de ambas pruebas:

- Rojo de metilo (MR), positiva para *Escherichia coli*
- Voges-Proskauer (VP), negativa

Para la prueba VP se añadieron alfa-naftol e hidróxido de potasio (KOH) y se incubó durante 1-2 horas. Se realizó una segunda lectura para confirmar resultados tardíos.

Análisis estadístico

Se aplicó estadística descriptiva para determinar la frecuencia de microorganismos según fuente y punto de muestreo. Los datos se analizaron en SPSS versión 26. Para comparar pH, cloro residual y recuentos bacterianos entre zonas, se empleó la prueba U de Mann–Whitney con un nivel de significancia de 0,05.

Consideraciones éticas

La investigación cumplió con los principios de la Declaración de Helsinki,[26] lo que garantizó autonomía mediante consentimiento informado, confidencialidad de la información y respeto a la propiedad intelectual. Contó con aprobación del Comité de Ética de la Escuela de Enfermería, según dictamen CEI-ENF-PI-05-06-2023.

Resultados

La tabla 1 presenta los valores de pH y cloro residual en muestras de agua de Pacasmayo centro y la zona alta. En el área central, el pH se ubicó mayoritariamente entre 8 y 8,4, mientras que en la zona alta predominó un pH de 7,8. Aunque ambos rangos cumplen los límites para agua potable, se halló una diferencia significativa entre sectores ($p < 0,05$). Respecto al cloro residual, todas las muestras del área central registraron valores < 0,5 ppm, mientras que en la zona

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

alta oscilaron entre 0,5 y 2 ppm. La prueba U de Mann-Whitney evidenció diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambas zonas.

Tabla 1 - Valores de pH y cloro residual en agua de consumo del distrito de Pacasmayo, según zona de muestreo. Febrero-marzo 2024

Zona	Muestra	pH	*ppm Cl
Zona centro	1	7,6	< 0,5
	2	8	< 0,5
	3	8,4	< 0,5
	4	8	< 0,5
	5	8	< 0,5
	6	8,4	< 0,5
	7	8,4	< 0,5
	8	8	< 0,5
	9	8,4	< 0,5
	10	8,4	< 0,5
	11	8,4	< 0,5
	12	8	< 0,5
Zona alta	13	7,0	0
	14	7,8	1,5
	15	7,5	0
	16	7,8	0,5
	17	7,8	0,8
	18	7,8	0,8
	19	7,6	0,5
	20	7,8	0,8
	21	7,8	0,8

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

	22	7,8	0,5
	23	7,8	2,0
	24	7,8	0,5
U de Mann-Whitney (Valor p)		0,000	0,003

Nota: *Ppm: Partes por millón de Cloro residual.

La tabla 2 presenta los recuentos de bacterias indicadoras de contaminación. En el área central, pocas muestras registraron valores < 1,1 NMP/100 ml para coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*, mientras que en la zona alta estas bacterias se identificaron solo en dos muestras. Los recuentos de bacterias heterotróficas fueron mayores en el sector centro, y superaron 500 UFC/ml, a diferencia de la zona alta, donde la mayoría estuvo por debajo de ese límite. La prueba U de Mann-Whitney confirmó diferencias significativas entre zonas. Se evidencia que, en el área central, solo una muestra cumplió los criterios microbiológicos y fisicoquímicos para consumo humano.

Tabla 2 - Recuentos de coliformes totales, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* y bacterias heterotróficas en muestras de agua de consumo del distrito de Pacasmayo, según zona de muestreo (febrero-marzo, 2024)

Zona	Código de muestra	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes termotolerantes (NMP /100ml)	*E. coli* (NMP/100ml)	Heterótroficas (UFC/ml)
Zona centro	1	> 23	> 23	23	$4,48 \times 10^2$
	2	9,2	9,2	6,9	$2,00 \times 10^3$
	3	< 1,1	< 1,1	< 1.1	$3,00 \times 10^3$
	4	12	3,6	1,1	$3,00 \times 10^3$
	5	< 1,1	< 1,1	< 1.1	$4,00 \times 10^3$
	6	12	9,2	6,9	$2,00 \times 10^3$
	7	6,9	5,1	5,1	$2,00 \times 10^3$
	8	< 1,1	< 1,1	< 1.1	$2,65 \times 10^2$

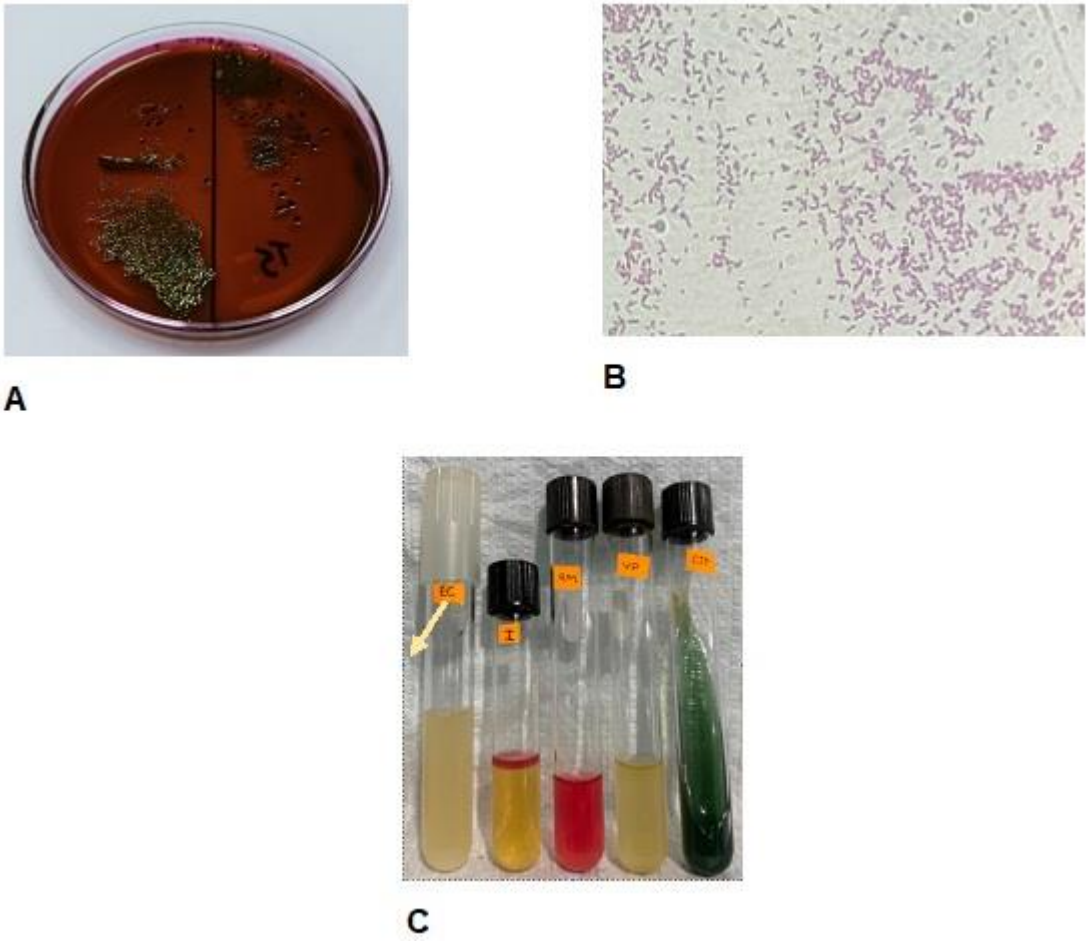
Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

	9	1,1	< 1,1	< 1.1	3,00 x 10^3
	10	5,1	2,2	1,1	3,00 x 10^3
	11	3,6	2,2	2,2	4,00 x 10^3
	12	2,2	1,1	2,2	6,00 x 10^2
Zona alta	13	> 23	> 23	> 23	9,00 x 10^6
	14	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	15	2,2	2,2	2,2	5,00 x 10^5
	16	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	17	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	18	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	19	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	20	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	21	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	22	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	23	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
	24	< 1,1	< 1,1	< 1,1	1,00 x 10^2
U de Mann-Whitney		p = 0,010	p = 0,015	p = 0,028	

Nota: Límites establecidos por el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano del Ministerio de salud del Perú. Coliformes Totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*: < 1,8 NMP/100 ml; Bacterias heterotróficas: < 500 UFC/ml.[23]

La figura muestra las colonias negro-azuladas con brillo metálico características de *Escherichia coli*, en medio EMB, resultado de la fermentación de la lactosa (A). La tinción de Gram (B), confirma su morfología típica y las pruebas bioquímicas InViC verifican su identificación (C). Estos hallazgos confirman la presencia de *Escherichia coli* como indicador de contaminación fecal en las muestras analizadas.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES



Leyenda: A) Colonias color negro azulado con brillo metálico observadas en Medio EMB, características de coli. B) Bacilos gramnegativos observados al microscopio óptico (1000 x) con morfología típica de E. coli. C) Cultivo de E. col (EC) y perfil bioquímico de identificación mediante pruebas de InViC: Indol (+), Rojo de Metilo (+), Voges-Proskauer (-) y Citrato (-).

Fig. - Pruebas bioquímicas de confirmación de *Escherichia coli* detectada en las muestras de agua destinada al consumo humano en Pacasmayo.

Discusión

El agua destinada al consumo humano debe cumplir con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos por la normativa vigente. Entre los parámetros químicos, el pH es un indicador fundamental; en Perú, el rango permitido para agua potable oscila entre 6,5 y 8,5.[27] En este estudio, el pH de las 24 muestras analizadas varió entre 7,0 y 8,4 (tabla 1), lo que evidencia conformidad con los estándares nacionales e internacionales. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por *Talpur* y otros,[2] quienes documentaron un rango similar con valores dentro de lo recomendado por la OMS.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

El monitoreo del pH es esencial porque la concentración de iones hidrógeno influye en la reactividad y disponibilidad de compuestos presentes en el agua, así como en el equilibrio químico y biológico de los ecosistemas acuáticos.[28] Además del pH, se evaluó la concentración de cloro residual. En las muestras de la zona alta de Pacasmayo, los valores oscilaron entre 0,5 y 2 ppm (tabla 1), por lo que cumplieron con la normativa nacional que establece un rango permitido de 0,5 a 5 ppm. Sin embargo, en la zona centro la concentración fue inferior a 0,5 ppm, lo cual podría incrementar el riesgo de contaminación microbiológica.[27,28,29]

La desinfección del agua con niveles adecuados de cloro es crucial para evitar el crecimiento microbiano. En la zona centro de Pacasmayo, donde el nivel de cloro fue < a 0,05 ppm, se detectaron recuentos elevados de bacterias heterotróficas, coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* (tabla 2), lo que superó los límites establecidos por las normas del Ministerio de Salud del Perú, que indican que las bacterias heterótroficas no debe superar las 500 UFC/ml, y que coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli* deben ser inferiores a 1,8 NMP/100ml, mientras que la concentración de cloro residual debe mantenerse entre < 0,05 y 2 ppm.[27]

La presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal es una amenaza significativa para la salud pública. Estudios previos como el de *Iñiguez-Muñoz* y otros[9] detectaron *Escherichia coli*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella* spp. y *Pseudomonas* spp. en agua sin cloración. De igual manera, *Gonzales-Saenz y otros*[29] *reportaron* la presencia de coliformes totales y *E. coli* en fuentes de agua potable de seis comunidades altoandinas de Huancavelica. En Cajamarca, Huánuco y Huancavelica, solo el 9,7 y 4 % de las muestras, respectivamente, fueron clasificadas como de buena calidad.[12] *Mian* y otros[30] encontraron bacterias patógenas en el 92 % de las muestras analizadas, especialmente *Escherichia coli* y *Salmonella* spp., mientras que *Javed* y otros[31] reportaron coliformes fecales en el 95 % y *Escherichia. coli* en el 27 % de las muestras evaluadas.

Desde 1982, la detección de *Escherichia coli* se considera un indicador clave de contaminación fecal, debido a su asociación con el tracto gastrointestinal de humanos y otros vertebrados. Su presencia en el agua potable señala un riesgo elevado de transmisión de enfermedades infecciosas de origen hídrico.[32] Los resultados obtenidos en este estudio confirman que la calidad bacteriológica del agua se degrada progresivamente desde la fuente hasta el punto de consumo final. Por ello, es prioritario fortalecer las estrategias de educación sanitaria y promover prácticas adecuadas de higiene.[17,33] El acceso a agua segura es esencial para prevenir enfermedades de transmisión hídrica y proteger la salud pública.[11]

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Entre las limitaciones, no se realizaron muestreos que permitieran identificar variaciones estacionales en la carga microbiana. Aunque el estudio fue exploratorio, los valores de cloro posibilitaron resaltar la importancia de la desinfección adecuada del agua. No se evaluó el impacto de factores externos como la contaminación durante el transporte o almacenamiento, los cuales deben ser considerados en futuras investigaciones.

Entre las fortalezas, el análisis por zonas geográficas permitió identificar áreas con riesgo microbiológico y orientar recomendaciones específicas. Además, se enfatiza la importancia de la calidad bacteriológica del agua y la presencia de microorganismos indicadores de contaminación fecal, relevantes para la prevención de enfermedades hídricas.

Se concluye que el valor de pH de las 24 muestras analizadas cumplió con los estándares nacionales e internacionales para agua potable. Las muestras con concentraciones de cloro residual entre 0,5 a 2 ppm presentaron recuentos bacterianos nulos o muy bajos, mientras que aquellas con valores inferiores a 0,5 ppm mostraron recuentos elevados, por lo que no se consideran aptas para el consumo humano. En la zona centro, solo la muestra del punto N° 8, cumplió con el límite permitido de 500 UFC/ml para bacterias heterotróficas y con los valores máximos establecidos para coliformes y *Escherichia coli* (< 1,8 NMP/100 ml). Estos hallazgos evidencian la necesidad urgente de optimizar los procesos de tratamiento y desinfección del agua. Se recomienda a las autoridades municipales implementar medidas eficaces de desinfección en los reservorios y las cisternas para garantizar la inocuidad del agua y proteger la salud de la población.

Agradecimientos

A la Municipalidad de Pacasmayo por facilitar los muestreos y al personal del laboratorio de Institutos y Centros de Investigación de la Universidad César Vallejo que apoyaron en la recolección de muestras y los análisis microbiológicos.

Referencias bibliográficas

1. Organización Panamericana de la Salud. Situación del marco para la seguridad del agua de consumo humano en América Latina y el Caribe. Washington (DC):

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Organización Panamericana de la Salud; 2021. DOI: https://doi.org/10.37774/9789275324554

2. Talpur HA, Talpur SA, Mahar A, Rosatelli G, Baloch MYJ, Ahmed A, *et al*. Investigating drinking water quality, microbial pollution, and potential health risks in selected schools of Badin city, Pakistan. HydroResearch. 2024;7:248-56. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.04.004

3. García ÁL, Ituarte LDM. El derecho humano al agua en España en el contexto europeo (2010-2020): implicaciones para las políticas y los modelos de gestión del ciclo urbano. Relaciones Internacionales. 2021;(45):305-26. DOI: https://doi.org/10.15366/relacionesinternacionales2020.45.014

4. Soto I, Colala L, Caruso M. Los servicios ambientales y la ética del cuidado del agua en acueductos rurales de los municipios de Marmato y Viterbo (Caldas, Colombia). Gestión y Ambiente. 2019;22(2):191-205. DOI: https://doi.org/10.15446/ga.v22n2.79848

5. Duarte F. Calidad del agua para consumo humano en el proceso de captación, tratamiento, distribución y consumo en el cantón La Maná, provincia de Cotopaxi. Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; s. a. [acceso 24/07/2024]. Disponible en: https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3730

6. Saeedi R, Sadeghi S, Massoudinejad M, Oroskhan M, Mohagheghian A, Mohebbi M, *et al*. Assessing drinking water quality based on water quality indices, human health risk, and burden of disease attributable to heavy metals in rural communities of Yazd County, Iran, 2015-2021. Heliyon. 2024;10(13):e33984. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33984

7. Rodríguez M, Moraña L, Salusso M, Seghezzo L. Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en la localidad periurbana de Salta. Rev Argent Microbiol. 2017;49(4):366-76. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.006

8. Méndez-Novelo R, Pacheco J, Castillo E, Sansores A, Vásquez E, Cabañas D. Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México. Rev Acad Fac Ing. 2018 [acceso 24/07/2024];19(1):51-61. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750924005

9. Iñiguez-Muñoz L, Anaya-Esparza C, Castañeda-Villanueva A, Martínez-Esquivias F, Carvajal-Hernández M, Robles M. Calidad microbiológica del agua potable utilizada en escuelas públicas de la ciudad de Tepatitlán, Jalisco. Cienc Agropec ICAP. 2022;8(15):33-9. DOI: https://doi.org/10.29057/icap.v8i15.7958

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

10. Rodríguez S, Asmundis C, Ayala M, Arzú O. Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Rev Vet*. 2018;29(1):9-12. DOI: https://doi.org/10.30972/vet.2912779

11. Velasteguí Sánchez JR. Calidad del agua para consumo humano en el corredor ecológico ecuatoriano Llanganates-Sangay. Rev Cienc Tecnol Innov. 2018 [acceso 24/07/2024]. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=564677247007

12. Tarqui-Mamani C, Álvarez-Dongo D, Gómez-Guizado G, Valenzuela-Vargas R, Fernández-Tinco I, Espinoza-Oriundo P. Calidad bacteriológica del agua para el consumo en tres regiones del Perú. Rev Salud Pública. 2016 [acceso 24/07/2024];18(6):904-12. Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/55008

13. Rodríguez R, Retamozo-Chávez R, Aponte H, Valdivia E. Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local. Ecol Apl. 2017 Jan [acceso 24/07/2024];16(1):15-21. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162017000100003

14. Ríos-Tobón S, Agudelo-Cadavid R, Gutiérrez-Builes L. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad de agua para beber. Rev Fac Nac Salud Pública. 2017 [acceso 24/07/2024];35(2). Disponible en: https://www.proquest.com/docview/1870205292

15. Marriner A**.** Modelos y teorías de enfermería: teoría del autocuidado de Orem. 9a ed. Barcelona: Elsevier Mosby; 2018 [acceso 24/07/2024]. Disponible en: https://www.inspectioncopy.elsevier.com/book/details/9788491133391

16. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua de consumo humano. 4a ed. Ginebra: OMS; 2011 [acceso 24/07/2024]. Disponible en: https://www.paho.org/es/documentos/guias-para-calidad-agua-consumo-humano-4o-ed-2011

17. Estupiñan-Torres S, Ávila S, Barrera D, Baquero R, Díaz D, Rodríguez A. Características bacteriológicas, físicas y pH del agua de consumo humano del municipio de Une-Cundinamarca. *Nova*. 2020 [acceso 24/07/2024];18(33):101-12. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702020000100101

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

18. Alemeshet Asefa Y, Alemu BM, Baraki N, Mekbib D, Mengistu DA. Bacteriological quality of drinking water from source and point of use and associated factors among households in Eastern Ethiopia. PLoS One. 2021;16(10):e0258806. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258806

19. Brossard PE, González C, Hernández D, Figueredo K. Enfermedades de transmisión hídrica en el cantón Penipe, Ecuador, 2016-2017. Rev Cubana Salud Pública. 2020 [acceso 24/07/2024];46(3):e1402. Disponible https://www.scielosp.org/article/rcsp/2020.v46n3/e1402/

20. Lara Figueroa H, García Salazar E. Prevalencia de enfermedades asociadas al uso de agua contaminada en el Valle del Mezquital. Entreciencias. 2019 [acceso 04/03/2022];7(21):91-106. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-80642019000300091

21. Hernández C. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora en la comunidad de 4 Millas de Matina, Limón. Costa Rica: Universidad Nacional; 2016 [acceso 24/07/2024]. Disponible en: http://hdl.handle.net/11056/13212

22. Ministerio de la Presidencia (España). Real Decreto por el que se establece la normativa de la calidad del agua de consumo humano. BOE; 2003 [acceso 25/07/2024]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2003/02/21/pdfs/A07228-07245.pdf

23. Ministerio de Salud. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Lima: MINSA; 2011 [acceso 04/06/2025]. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

24. De Vos P, Garrity G, Krieg N, Ludwig W, Rainey F, Schleifer K (editors). Bergey's manual of systematic bacteriology. 2nd ed. Vol. 3. New York: Springer; 2009 [acceso 24/07/2024]. Disponible en: https://link.springer.com/series/4157

25. American Public Health Association. Multiple-tube fermentation technique for members of the coliform group (9221). In: *Standard Methods for the* Examination of Water and Wastewater. 24th ed. Washington (DC): APHA; s. a. [acceso 24/07/2024]. Disponible en: https://www.standardmethods.org

26. World Medical Association. Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. [acceso 30/11/2023]. Disponible en: https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

27. Lucas L, Carreño A. Calidad del agua de consumo humano en las comunidades Balsa en Medio, Julián y Severino de la microcuenca Carrizal, Ecuador. Rev IIGEO. 2018;21(42):39-46. DOI: https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i42.15785

28. Bendézu-Quispe G, Whuking-Zea C, Medina-Molina P, Maruy-Yumi A, Namuche-Marín B. Concentración inadecuada de cloro residual libre en agua de hogares de Lima Metropolitana, 2016. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2018 [acceso 24/07/2024];35(2):347-8. Disponible en: https://www.scielosp.org/pdf/rpmesp/2018.v35n2/347-348/es

29. Gonzales-Saenz W, Acharte-Lume LM, Poma-Palacios JC, Sánchez-Araujo VG, Quispe-Coica FA, Meseguer-Pallarés R. Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica, Perú. Rev Investig Altoandinas. 2023;25(1):23-31. DOI: https://doi.org/10.18271/ria.2023.486

30. Mian AH, Fatima T, Qayyum S, Ali K, Shah R, Noorullah, *et al*. A study of bacterial profile and antibiotic susceptibility pattern found in drinking water at district Mansehra, Pakistan. Appl Nanosci. 2020;10(12):5435-9. DOI: https://doi.org/10.1007/s13204-020-01411-0

31. Javed M, Aslam M, Nadeem S, Aftab H, Hussain S, Arif M, *et al*. Microbial contamination in drinking water of Saggiyan, Lahore, Pakistan. Int J Environ Eng Geol. 2021;12(1):76-80. DOI: https://doi.org/10.46660/ijeeg.v12i1.152

32. Nowicki S, deLaurent ZR, de Villiers EP, Githinji G, Charles KJ. The utility of *Escherichia coli* as a contamination indicator for rural drinking water: evidence from whole genome sequencing. PLoS One. 2021;16(1):e0245910. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245910

33. Alsalme A, Al-Zaqri N, Ullah R, Yaqub S. Approximation of groundwater quality for microbial and chemical contamination. Saudi J Biol Sci. 2021;28:1757-62. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.017

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Helen Rivera Tejada y Nélida Milly Otiniano.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Curación de datos: Nélida Milly Otiniano.
Análisis formal: Jessica Vicuña Villacorta.
Investigación: Helen Rivera Tejada, Miguel Muñoz Ríos y Nélida Milly Otiniano.
Metodología: Nélida Milly Otiniano y Miguel Muñoz Ríos.
Adquisición de fondos: Helen Rivera Tejada.
Visualización: Nélida Milly Otiniano y Helen Rivera Tejada.
Redacción-borrador original: Helen Rivera Tejada, Nélida Milly Otiniano y Jessica Vicuña Villacorta.
Redacción-revisión y edición: Helen Rivera Tejada y Nélida Milly Otiniano.

Financiación

Esta investigación fue financiada por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad César Vallejo, mediante Resolución N°180-2023-VI-UCV.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES