



Riesgo sanitario por contaminación microbiológica de pozos asociados a letrinas en Puno, Perú

Health risk due to microbiological contamination of wells associated with latrines in Puno, Peru

Risco à saúde devido à contaminação microbiológica de poços associados a latrinas em Puno, Peru

Cesar Efrain Huarachi Cruz^{1,2}
eeffrain06@gmail.com

Anibal Sucari León^{1,2,3}
asucari@unap.edu.pe

Carmen Natalia Marón Mamani¹
cmaron@unap.edu.pe

Jesús Alberto Suty Vilca¹
jesus.suty@unap.edu.pe

Heinz Miguel Chura Cahuana^{1,2,3}
hm.chura@unap.edu.pe

Ludwing Van Chambilla Pacoticona¹
ludwing.chambilla@unap.edu.pe

¹Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú

²Segunda Especialidad en: Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente. Puno, Perú

³Instituto de Investigación y Desarrollo Andino Amazónico-IIDEAA. Puno, Perú

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i28.458>

Artículo recibido: 7 de noviembre 2025 / Arbitrado: 26 de diciembre 2025 / Publicado: 7 de enero 2026

RESUMEN

El acceso a agua segura es esencial para la salud humana; sin embargo, en zonas periurbanas de la ciudad de Puno, como el barrio Chacarilla, persiste el uso de pozos excavados cercanos a letrinas, lo que incrementa el riesgo de contaminación microbiológica de los acuíferos someros. En este contexto, el objetivo del estudio fue determinar la calidad microbiológica del agua de pozos de uso doméstico y evaluar el riesgo sanitario asociado. La investigación fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño no experimental transversal; se analizaron ocho pozos seleccionados por conveniencia durante dos meses, con intervalos de muestreo de 25 días. Los análisis microbiológicos se realizaron mediante el método del Número Más Probable (NMP), empleando medios selectivos para la detección de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*, mientras que el análisis estadístico se efectuó con R Studio mediante técnicas descriptivas e inferenciales. Los resultados evidenciaron concentraciones elevadas en todos los pozos, con medias de coliformes totales de hasta 279,75 NMP/100 mL, coliformes fecales de 93,25 NMP/100 mL y *E. coli* de 82,25 NMP/100 mL, registrándose los valores más altos en pozos ubicados a menor distancia de letrinas. Todos los valores superaron los límites permisibles establecidos por la normativa vigente. Se concluye que el agua evaluada no es apta para consumo humano y representa un riesgo sanitario significativo, siendo necesario implementar medidas urgentes de saneamiento y control.

Palabras clave: Agua subterránea; Calidad del agua; Contaminación microbiológica; Saneamiento básico; Riesgo sanitario

ABSTRACT

Access to safe water is essential for human health; however, in peri-urban areas of the city of Puno, such as the Chacarilla neighborhood, the use of dug wells located near latrines persists, increasing the risk of microbiological contamination of shallow aquifers. In this context, the objective of the study was to determine the microbiological quality of water from wells used for domestic purposes and to assess the associated health risk. The research was applied in nature, with a quantitative approach, explanatory level, and non-experimental cross-sectional design; eight convenience-selected wells were analyzed over two months, with sampling intervals of 25 days. Microbiological analyses were performed using the Most Probable Number (MPN) method, employing selective media for the detection of total coliforms, fecal coliforms, and *Escherichia coli*, while statistical analysis was conducted using R Studio with descriptive and inferential techniques. The results showed elevated concentrations in all wells, with mean values of total coliforms up to 279.75 MPN/100 mL, fecal coliforms of 93.25 MPN/100 mL, and *E. coli* of 82.25 MPN/100 mL, with the highest values recorded in wells located closer to latrines. All values exceeded the permissible limits established by current regulations. It is concluded that the water tested is unfit for human consumption and poses a significant health risk, making it necessary to implement urgent sanitation and control measures.

Key words: Groundwater; Water quality; Microbiological contamination; Basic sanitation; Health risk

RESUMO

O acesso à água potável é essencial para a saúde humana; no entanto, em áreas periurbanas da cidade de Puno, como o bairro de Chacarilla, persiste o uso de poços cavados próximos a latrinas, o que aumenta o risco de contaminação microbiológica dos aquíferos rasos. Nesse contexto, o objetivo do estudo foi determinar a qualidade microbiológica da água de poços de uso doméstico e avaliar o risco sanitário associado. A pesquisa foi de tipo aplicado, com enfoque quantitativo, nível explicativo e desenho transversal não experimental; foram analisados oito poços selecionados por conveniência durante dois meses, com intervalos de amostragem de 25 dias. As análises microbiológicas foram realizadas pelo método do Número Mais Provável (NMP), utilizando meios seletivos para a detecção de coliformes totais, coliformes fecais e *Escherichia coli*, enquanto a análise estatística foi efetuada com o R Studio por meio de técnicas descritivas e inferenciais. Os resultados evidenciaram concentrações elevadas em todos os poços, com médias de coliformes totais de até 279,75 NMP/100 mL, coliformes fecais de 93,25 NMP/100 mL e *E. coli* de 82,25 NMP/100 mL, registrando-se os valores mais altos em poços localizados a menor distância de latrinas. Todos os valores ultrapassaram os limites permitidos estabelecidos pela legislação vigente. Conclui-se que a água analisada não é própria para consumo humano e representa um risco sanitário significativo, sendo necessário implementar medidas urgentes de saneamento e controle.

Palavras-chave: Água subterránea; Qualidade da água; contaminação microbiológica; Saneamento básico; Risco à saúde

INTRODUCCIÓN

El acceso a agua segura constituye un componente esencial para proteger la salud pública, especialmente en comunidades donde los sistemas de saneamiento presentan limitaciones. En zonas periurbanas de países en desarrollo, la combinación de pozos someros y letrinas de tipo tradicional aumenta el riesgo ante la contaminación del agua debido a la infiltración de materia fecal hacia el acuífero. Investigaciones recientes han demostrado que los sistemas de saneamiento in situ pueden generar impactos significativos sobre la calidad del agua de pozo cuando no se respetan distancias mínimas ni se consideran las características hidrogeológicas del terreno (1).

Además, estudios recientes han demostrado que las letrinas mal ubicadas o construidas pueden facilitar la infiltración de microorganismos patógenos hacia acuíferos cercanos, aumentando la presencia patógenos (2). De acuerdo con estudios realizados en África y Asia, la proximidad entre pozos y letrinas incrementa la presencia de coliformes fecales, *E. coli*, nitratos y sólidos disueltos, evidenciando riesgo sanitario directo para los pobladores que consume esta agua sin tratamiento (3). De igual forma, investigaciones recientes en América Latina evidencian que los sistemas de saneamiento deficientes contribuyen a la contaminación microbiológica de manantiales y pozos en comunidades vulnerables (4).

Diversas investigaciones desarrolladas en América Latina, África y Asia coinciden en que el consumo de agua subterránea contaminada constituye un problema de salud pública de alta relevancia. En el Perú, la ingesta de agua de pozo con contaminación microbiológica se asocia a eventos gastrointestinales agudos y crónicos, afectando de manera particular a grupos vulnerables como niños y adultos mayores (5). Asimismo, se ha documentado que los pozos ubicados en proximidad a letrinas presentan elevadas concentraciones de bacterias y metales, lo que incrementa el riesgo de infecciones y efectos tóxicos derivados de exposiciones continuas (6). En países del África subsahariana, como Malawi y Nigeria, la literatura señala que la infiltración de efluentes provenientes de letrinas mal diseñadas o con insuficiente sellado favorece la presencia de coliformes fecales, *Escherichia coli* y metales pesados en los acuíferos someros. Esto se vincula a la aparición de enfermedades como diarrea, fiebre tifoidea y cólera, por lo que se recomienda mantener distancias superiores a 30 metros entre pozos y letrinas para mitigar el riesgo sanitario (7).

Resultados afines se reportan en otros contextos, donde el consumo de agua sin desinfección incrementa la probabilidad de brotes gastrointestinales, especialmente en niños y personas inmunodeprimidas (8). En el ámbito latinoamericano, las evidencias disponibles

indican que la contaminación microbiológica de pozos continúa siendo un factor determinante en la incidencia de enfermedades intestinales. En el Perú, múltiples estudios han encontrado bacterias fecales, parásitos y otros patógenos en el agua destinada al consumo humano, lo que representa un riesgo sanitario significativo en comunidades con limitado acceso a agua potable y sistemas de saneamiento formal (9-12).

De manera concordante, investigaciones realizadas en México, San Salvador y Ecuador demuestran que la presencia de microorganismos virulentos en pozos cercanos a letrinas puede desencadenar brotes epidémicos y enfermedades como diarrea, cólera y fiebre tifoidea cuando el agua se consume sin tratamiento adecuado (13,14). Por lo tanto, los estudios confirman que la proximidad entre pozos y letrinas constituye un factor crítico en la contaminación microbiológica del agua subterránea, y que su impacto sanitario puede ser sustancial cuando no se implementan medidas de protección, tratamiento y distanciamiento mínimo.

El estado del arte evidencia que la contaminación del agua subterránea por fuentes antrópicas, especialmente sistemas de saneamiento inadecuados, constituye un problema relevante en países en desarrollo. En este contexto, ingeniería ambiental y la salud pública convergen para analizar los riesgos asociados. Por ejemplo Odewade et al. (15), evaluaron la contaminación

por heces humanas en aguas subterráneas en Nigeria, con el objetivo de determinar su impacto en enfermedades hídricas, empleando análisis fisicoquímicos y microbiológicos; sus resultados evidenciaron una alta presencia de contaminantes fecales y una correlación significativa con enfermedades transmitidas por el agua.

De manera similar Odejuwon (16), investigó la contaminación de acuíferos someros por letrinas, utilizando métodos de muestreo y análisis de calidad de agua, concluyendo que existe una infiltración directa de patógenos hacia las fuentes de agua subterránea. Complementariamente Mbae et al. (17) desarrollaron una revisión sistemática bajo el modelo fuente-trayectoria-receptor, con el objetivo de evaluar el riesgo de contaminación por sistemas de saneamiento in situ, demostrando que la proximidad entre letrinas y fuentes de agua incrementa significativamente el riesgo sanitario.

En América Latina, diversos estudios han abordado la relación entre saneamiento ambiental y salud, destacando la persistencia de problemas en zonas rurales y periurbanas. Durán, Rivero y Parrales (18), analizaron los factores de riesgo asociados al saneamiento ambiental y su relación con parasitosis intestinales, mediante un enfoque correlacional, identificando que la deficiente disposición de excretas y el acceso limitado a agua segura incrementan la prevalencia de infecciones. En el caso peruano, Ccorimanya et

al. (19) evaluaron la calidad del agua subterránea y el riesgo sanitario en Ica, utilizando análisis fisicoquímicos y microbiológicos, evidenciando niveles de contaminación que representan un riesgo para la salud humana.

Asimismo, González et al. (20), realizaron un estudio en comunidades altoandinas de Huancavelica con el objetivo de evaluar la calidad del agua de consumo, empleando métodos analíticos estandarizados, encontrando la presencia de coliformes y parámetros fuera de los límites permisibles, lo que evidencia deficiencias en los sistemas de tratamiento y distribución de agua potable.

Finalmente, investigaciones recientes profundizan en la identificación de agentes específicos de contaminación y sus implicancias sanitarias. Hernández et al. (21), analizaron la presencia de *Escherichia coli* en agua de consumo humano en Perú, mediante un estudio transversal, identificando factores asociados como almacenamiento inadecuado y deficiencias en el tratamiento del agua. Por otro lado, Ferro et al. (22), evaluaron la presencia de genes de resistencia a antibióticos en la bahía interior del lago Titicaca, utilizando técnicas moleculares, evidenciando un riesgo emergente vinculado a la contaminación microbiológica. En conjunto, estos estudios demuestran que la problemática de la calidad del agua no solo se limita a la presencia de

patógenos tradicionales, sino que incluye amenazas emergentes como la resistencia antimicrobiana, lo que refuerza la necesidad de fortalecer la gestión del saneamiento y la vigilancia de la calidad del agua en contextos vulnerables.

En el contexto peruano, diversas zonas periurbanas y rurales continúan utilizando letrinas y pozos excavados sin criterios técnicos, lo que podría favorecer la migración de patógenos desde las excretas hacia el agua subterránea. Sin embargo, los estudios en zonas altoandinas continúan siendo escasos, a pesar de que las condiciones geológicas, la profundidad de los acuíferos y la ausencia de saneamiento básico representan factores que podrían incrementar la vulnerabilidad sanitaria. Ante este escenario, el propósito fue determinar la contaminación microbiológica del agua de pozo asociada a la presencia de letrinas y determinar el riesgo sanitario para la población en Puno, Perú. Asimismo, buscó identificar los parámetros críticos que determinan el agua no apta para consumo humano orientada a reducir la contaminación de origen fecal en los pozos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño no experimental transversal. La investigación se llevó a cabo en el barrio Chacarilla, ciudad de Puno (Perú), durante un periodo de dos meses en el año

2025, con un intervalo de muestreo de 25 días. El universo estuvo constituido por todos los pozos de uso doméstico presentes en el área de estudio. La muestra fue no probabilística por conveniencia y comprendió ocho pozos ($n = 8$), seleccionados en

función de su accesibilidad, representatividad, finalidad y uso habitual para consumo humano. Para cada pozo se registraron las coordenadas UTM y la distancia a la letrina más cercana, información presentada en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de los pozos.

Muestra	Coordenadas (UTM)	Distancia de pozos hacia las letrinas
P-01	390562 - 8247206	7.32 m.
P-02	390529 - 8247210	9.10 m.
P-03	390437 - 8247180	5.75 m.
P-04	390498 - 8247160	13.20 m.
P-05	390498 - 8247160	23.20 m.
P-06	390498 - 8247160	13.20 m.
P-07	390470 - 8247250	15.80 m.
P-08	390460 - 8247145	22.40 m.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron pozos que:

- eran utilizados para consumo humano;
- contaban con una letrina dentro del área inmediata de influencia; y
- permitían la accesibilidad para la toma de mediciones.

Se excluyeron pozos abandonados, pozos destinados a usos no domésticos y aquellos ubicados en predios donde no existía letrina o se encontraban a una distancia considerable que no representaba influencia potencial.

Variables del estudio

- **Variable dependiente:** Riesgo sanitario asociado al consumo de agua de pozo, evaluado mediante parámetros microbiológicos
- **Variable independiente:** Distancia entre pozo y letrina, medida con cinta métrica Y categorizada en tres rangos: <10 m, 10–20 m, y >20 m. Se usó como factor de comparación entre grupos de pozos, en concordancia con el diseño explicativo del estudio.

Toma, conservación y transporte de muestras

Por cada pozo se recolectó 1 litro de agua en frascos estériles. Se colocó tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) para neutralizar oxidantes. Las muestras se rotularon con fecha, hora y coordenadas; posteriormente fueron conservadas en contenedores isotérmicos con temperatura <8 °C hasta su llegada al laboratorio. El procedimiento siguió la R.J. 010-2016-ANA y el D.S. N.º 031-2010-SA.

Análisis de laboratorio

Los análisis fisicoquímicos se realizaron con equipos calibrado y los análisis microbiológicos se efectuaron mediante el método NMP con caldo Lauryl Triptosa (presuntivo), caldo BGLB (confirmación de coliformes totales) y caldo EC o EC-MUG (confirmación de coliformes fecales y *E. coli*), siguiendo tiempos y temperaturas normadas para cada medio.

Resultados primarios y secundarios

Los resultados primarios evidenciaron que todos los pozos evaluados presentan contaminación microbiológica, con presencia de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*, incumpliendo los estándares sanitarios vigentes. La mayor concentración de estos indicadores se registró en pozos ubicados a menos de diez metros de las letrinas, demostrando la influencia

de la proximidad en la infiltración de aguas residuales. Ninguna muestra cumplió con los límites permisibles establecidos por el ECA para Agua y el DS 031-2010-SA, con lo que se confirma que el agua no es adecuada para su consumo y representa un riesgo sanitario.

Los resultados secundarios revelaron deficiencias estructurales en la mayoría de los pozos, como ausencia de sellado, grietas y tapas deterioradas, así como la falta de prácticas de desinfección. Estas condiciones, junto con la proximidad a letrinas y la permeabilidad del suelo, incrementan la contaminación y la vulnerabilidad sanitaria, favoreciendo la aparición de enfermedades gastrointestinales.

Análisis estadístico

Se realizó utilizando el software R Studio. Se aplicaron técnicas descriptivas para la caracterización de los parámetros microbiológicos, incluyendo medias y desviaciones estándar. Asimismo, se ejecutaron pruebas inferenciales con el fin de identificar diferencias significativas entre los pozos según su proximidad a las letrinas.

Bioseguridad, cadena de custodia y aspectos éticos

Se documentó la cadena de custodia desde la toma hasta la entrega en laboratorio. El personal cumplió protocolos de bioseguridad (EPP completo).

Equipos e insumos

Se emplearon frascos estériles de 1 L, contenedores isotérmicos, medios microbiológicos (LTB, BGLB, EC, EC-MUG).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Coliformes totales

Para los coliformes totales se tiene los siguientes resultados como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de coliformes totales.

Pozo	Distancia (m)	Octubre - 2025 (NMP/100 mL)	Noviembre - 2025 (NMP/100 mL)	*/**
P-01	7.32	420	450	0/50
P-02	9.1	360	370	
P-03	5.75	500	540	
P-04	13.2	220	230	
P-05	23.2	90	88	
P-06	13.2	260	270	
P-07	15.8	180	175	
P-08	22.4	120	115	
	\bar{X}	268.75	279.75	
	D.E	136.51	150.96	
	C.V (%)	51%	54%	

Según la Tabla 2, podemos observar que, durante los meses de octubre y noviembre, los resultados mostraron concentraciones elevadas de coliformes totales en todos los pozos evaluados, evidenciando un patrón de contaminación microbiológica consistente con lo descrito en la sección de métodos. En la tabla 2 se observa que el P-01 registró las mayores concentraciones (420 y 450 NMP/100 mL), seguido del P-02 (360 y 370 NMP/100 mL), lo que sugiere un mayor impacto de

fuentes domésticas cercanas. En contraste, el P-05 presentó los valores más bajos (90 y 88 NMP/100 mL), asociados a su mayor distancia respecto de las letrinas. Las medias generales fueron de 268,75 NMP/100 mL en octubre y 279,75 NMP/100 mL en noviembre, con coeficientes de variación de 51 % y 54 %, reflejando una variabilidad moderada entre puntos de muestreo. Se identificó un leve incremento en noviembre, posiblemente por el arrastre de materia orgánica asociado

a las primeras lluvias, sin registrarse eventos colaterales adicionales. Al compararse con los límites establecidos en el ECA para Agua y el D.S. N° 031-2010-SA, todos los pozos excedieron los valores permitidos, confirmando la presencia de contaminación fecal generalizada.

Coliformes fecales

Respecto a coliformes fecales se tiene los resultados en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de coliformes fecales.

Pozo	Distancia (m)	Octubre (NMP/100 mL)	Noviembre (NMP/100 mL)	*/**
P-01	7.32	160	170	0/20
P-02	9.1	120	130	
P-03	5.75	200	210	
P-04	13.2	60	62	
P-05	23.2	20	19	
P-06	13.2	80	85	
P-07	15.8	45	42	
P-08	22.4	30	28	
	\bar{X}	89.38	93.25	
	D.E	60.64	65.49	
	C.V (%)	68%	70%	

Nota. * DS 031-2010-SA. ** ECA del Agua 004-2017-MINAN.

En la Tabla 3, se evidencia que durante los meses de octubre y noviembre se identificaron concentraciones elevadas de coliformes fecales en los pozos evaluados, conforme a lo establecido en la metodología. Según la tabla 3, el P-03 presentó los valores más altos (200 y 210 NMP/100 mL), seguido del P-01 (160 y 170 NMP/100 mL) y P-02 (120 y 130 NMP/100 mL), evidenciando una mayor influencia de focos cercanos de contaminación. En contraste, los valores más bajos se registraron

en el P-05 (20 y 19 NMP/100 mL) y P-08 (30 y 28 NMP/100 mL), asociados a una mayor distancia respecto de las viviendas y letrinas. Las medias obtenidas fueron de 89,38 NMP/100 mL en octubre y 93,25 NMP/100 mL en noviembre, con coeficientes de variación de 68 % y 70 %, lo cual indica una dispersión alta entre los puntos de muestreo. Asimismo, se observó un incremento ligero en noviembre, posiblemente vinculado a la infiltración de aguas residuales favorecida por el

inicio de la temporada de lluvias. Al compararse con los límites establecidos en el ECA para Agua (D.S. N. ° 004-2017-MINAM, categoría 1-A1) y el D.S. N. ° 031-2010-SA, se verificó que ninguno de los pozos cumple con el valor permitido de 0 NMP/100 mL, lo que confirma que el agua subterránea no es apta para consumo humano.

Escherichia coli

Se evaluó la concentración de Escherichia coli en los pozos de muestreo, cuyos resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de *Escherichia Coli*.

Pozo	Distancia (m)	Octubre (NMP/100 mL)	Noviembre (NMP/100 mL)	*/**
P-01	7.32	140	160	0/0
P-02	9.1	100	110	
P-03	5.75	180	200	
P-04	13.2	45	48	
P-05	23.2	15	14	
P-06	13.2	60	65	
P-07	15.8	35	38	
P-08	22.4	22	23	
\bar{X}	74.63	82.25		
D.E	55.91	63.52		
C.V (%)	75%	77%		

Nota. * DS 031-2010-SA. ** ECA del Agua 004-2017-MINAN.

La Tabla 4, muestra que El P-03 registró las concentraciones más elevadas (180 y 200 NMP/100 mL), seguido del P-01 (140 y 160 NMP/100 mL), lo que evidencia una fuerte influencia de focos cercanos de contaminación fecal. La media general fue de 74,63 y 82,25 NMP/100 mL, con coeficientes de variación elevados (75 % y 77 %), indicando una marcada dispersión entre los valores obtenidos. En contraste, el P-05 presentó las concentraciones más bajas (15 y 14 NMP/100 mL), lo que sugiere

menor afectación por infiltración de residuos. Se identificó un incremento progresivo de E. coli, posiblemente asociado a una mayor percolación de aguas pluviales y descargas domésticas. Los pozos P-01, P-02 y P-03 ubicados a menor distancia de las viviendas y letrinas presentaron los niveles más altos, confirmando que la cercanía a fuentes de contaminación incrementa la carga microbiológica, mientras que los pozos más alejados mostraron niveles reducidos. Al compararse los valores con

el ECA para Agua (D.S. N. ° 004-2017-MINAM, categoría 1-A1), se determinó que ninguno de los pozos cumple con el límite permisible de 0 NMP/100 mL; asimismo, de acuerdo con el D.S. N. ° 031-2010-SA, Art. 60, toda agua destinada al consumo humano debe estar libre de contaminantes microbiológicos. Estos resultados confirman que el agua de los pozos evaluados no es apta para el consumo humano.

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una contaminación microbiológica generalizada en los pozos evaluados, caracterizada por concentraciones elevadas de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*. Esta situación confirma un riesgo sanitario significativo para la población que consume agua de pozo sin tratamiento, especialmente en zonas donde la infraestructura sanitaria es limitada. La presencia de *E. coli*, indicador clave de contaminación fecal reciente, constituye una señal inequívoca de fallas en la protección de los pozos y de la influencia directa de las letrinas cercanas. Este patrón concuerda con lo reportado por Odewade (15), quienes demostraron que las deficiencias en saneamiento incrementan la probabilidad de contaminación fecal en el agua subterránea, reflejada en reducciones incompletas de *E. coli* aun en presencia de intervenciones básicas de higiene.

De manera similar Adejuwon (16), encontró que la proximidad inferior a 20 m entre pozos y letrinas aumenta significativamente la probabilidad de contaminación microbiológica, lo cual coincide con nuestros hallazgos que muestran mayores niveles en los pozos situados a menor distancia de las letrinas y viviendas.

Asimismo, la marcada variabilidad en las concentraciones de indicadores microbiológicos se relaciona con lo expuesto por Mbae (17), quienes destacan que la combinación de pozos someros, suelos permeables y ausencia de sellado sanitario facilita la migración de patógenos hacia el acuífero, especialmente cuando el nivel freático es reducido. Este contexto se evidencia también en los modelos globales propuestos por Hinton et al. (1), que proyectan un incremento sustancial en zonas de riesgo derivado de la densidad de letrinas y de la hidrogeología local, circunstancias similares a las encontradas en el área de estudio. En cuanto al contexto latinoamericano, los resultados son coherentes con lo descrito por (18), quienes vinculan la precariedad del saneamiento ambiental con el incremento de enfermedades de origen hídrico, reforzando la relación entre infraestructura deficiente y exposición a contaminantes microbianos.

A nivel nacional, los hallazgos coinciden con lo reportado por Ccorimanya (19), quienes identificaron concentraciones elevadas de

coliformes totales y presencia significativa de *E. coli* en pozos de consumo humano, indicando que esta problemática es recurrente en diversas regiones del Perú. De igual modo, la proporción de pozos contaminados observada es consistente con lo señalado por Gonzales et al. (20), en comunidades altoandinas, donde la estacionalidad y la falta de desinfección intensifican el riesgo microbiológico. Los patrones detectados también se alinean con los análisis de Hernandez et al. (21), quienes demostraron que un porcentaje considerable de hogares peruanos está expuesto a *E. coli* debido a factores socioambientales similares: almacenamiento inadecuado de agua, ausencia de cloración y uso de fuentes vulnerables.

A nivel local, los valores elevados de coliformes totales y fecales concuerdan con investigaciones recientes en Puno, como las de Huarachi y Añari, (5), quienes reportaron concentraciones preocupantes de indicadores microbiológicos en fuentes alternativas como manantiales y pozos en zonas insulares. Asimismo, la magnitud de contaminación registrada es comparable con la reportada por Mamani y Ortiz (6), quienes identificaron cargas significativas de coliformes en Suches, confirmando que las fuentes de agua subterránea en la región presentan vulnerabilidad estructural frente a la contaminación fecal. Estudios recientes también evidencian presión antropogénica adicional en los acuíferos de la

región, como se observa en Ferro et al. (22), quienes detectaron marcadores genéticos de *E. coli* y genes asociados a resistencia antimicrobiana, reforzando la idea de un ecosistema hídrico fuertemente impactado por actividades domésticas.

Los resultados de este estudio aportan evidencia consistente de que la cercanía entre letrinas y pozos constituye el principal determinante del riesgo sanitario, superando ampliamente los límites establecidos por el ECA del Agua y el D.S. N.º 031-2010-SA. Esta convergencia entre resultados locales y evidencias internacionales subraya la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación, tales como la reubicación de letrinas, el establecimiento de distancias mínimas de seguridad, el sellado sanitario de pozos y la incorporación de sistemas de desinfección continua. Finalmente, los hallazgos permiten afirmar que la protección del agua subterránea en zonas periurbanas altoandinas requiere intervenciones integrales y sostenibles que consideren las particularidades geológicas, sociales y sanitarias del territorio, a fin de reducir el riesgo de enfermedades de origen hídrico y garantizar la salud pública.

CONCLUSIONES

La calidad del agua de los pozos evaluados evidenció un riesgo sanitario significativo, debido a los patógenos (coliformes totales, coliformes

fecales y *E. coli*) superaron los límites establecidos por la normativa nacional para consumo humano. Estos hallazgos confirman que el agua analizada no es apta para uso directo sin tratamiento.

La distancia entre pozos y letrinas influyó operativamente en los niveles de contaminación observados, ya que los pozos ubicados a menos de 10 m mostraron mayores concentraciones de coliformes y parámetros alterados. Si bien el diseño del estudio no buscó establecer relaciones causales, los patrones hallados permiten identificar que las distancias reducidas generan condiciones de mayor vulnerabilidad sanitaria.

El estudio proporcionó evidencia local relevante para la toma de decisiones en salud ambiental, demostrando que los sistemas de saneamiento no mejorados como letrinas cercanas a fuentes de agua, siguen representando un riesgo en zonas periurbanas altoandinas. Por ello, se recomienda adoptar medidas de mitigación como el aumento de la distancia mínima entre pozos y letrinas, la implementación de técnicas de tratamiento doméstico del agua y la promoción de alternativas seguras de disposición sanitaria.

Los resultados aportan argumentos para priorizar intervenciones de saneamiento en el barrio Chacarilla, incluyendo programas de educación sanitaria, mejoras en la infraestructura de pozos, y campañas de desinfección periódica del agua. Además, se sugiere realizar investigaciones

con mayor tamaño muestral y variables hidrogeológicas complementarias para fortalecer la comprensión del riesgo en este tipo de sistemas de abastecimiento.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Hinton R, Kalin R, Kanjaye M, Mleta P, Macleod C, Troldborg M. Spatial model of groundwater contamination risks from pit-latrines in a low-income country. *Water Res.* 2024; 267:122734. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122734>
2. Ren B, et al. Effect of gradual increase of atmospheric CO₂ concentration on nitrification potential and communities of ammonia oxidizers in paddy fields. *J Environ Manage.* 2023;325:116597. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116597>
3. Back J, et al. Risk assessment to groundwater of pit latrine rural sanitation policy in developing country settings. *Sci Total Environ.* 2018;613–614:592–610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.071>
4. Colín M, et al. Human health risk and quality assessment of spring water associated with nitrates, potentially toxic elements, and fecal coliforms: a case from southern Mexico. *Water (Basel).* 2023;15(10):1863. <https://doi.org/10.3390/w15101863>
5. Huarachi C, Añari S. Diagnóstico de patógenos e indicadores microbiológicos de la calidad de agua para consumo humano en la isla Ccapi Uros. *Rev Cient Salud Desarro Hum.* 2025;6(3):192–218. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i3.767>
6. Mamani M, Ortiz N. Calidad sanitaria del agua de consumo humano de la comunidad Suches, San Román, Región Puno. *Rev Cienc Agrar.* 2025;10(1):20–30. <https://doi.org/10.53719/RCA.2025.877>

7. Dzinjalama G, et al. Human health risk assessment of microbial contamination and trace metals in water and soils of Chileka Township, Blantyre, Malawi. *Discover Environment*. 2024;2(1):62. <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00096-4>
8. Mussa C, Kamoto J. Groundwater quality assessment in urban areas of Malawi: a case of Area 25 in Lilongwe. *J Environ Public Health*. 2023;2023:1–7. <https://doi.org/10.1155/2023/6974966>
9. Jara-Vilca R. Una revisión bibliográfica sobre métodos de detección de coliformes en fuentes de agua: avances recientes a nivel internacional. *Rev Cient Dekamu Agropec*. 2023;4(1). <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v4i1.145>
10. Chavarría-Márquez E, Huamaní-Astocaza L, Basurto-Contreras C, Gutierrez-Collao J, Cusiche-Huamaní M. Determinación clásica de coliformes fecales en agua entubada en el distrito de Ahuaycha, Perú. *Rev Alfa*. 2023;7(21):560–6. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i21.236>
11. Dueñas-Jurado C, Hinojosa-Yzarra L. La calidad del agua potable y su influencia en la salud humana. *GnosisWisdom*. 2021;1(3). <https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v1i3.19>
12. Moreno-Sánchez E. Principales enfermedades causadas por el consumo directo de aguas residuales. *TecnoBusiness*. 2020;1(1). <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1553>
13. Huamuro-Castillo E, Rivera-Salazar C, Torres-García L, Carbajal-García L. Influencia de la calidad microbiológica del agua de consumo humano en la enteroparasitosis de los pobladores del sector Linderos Bajo – Jaén. *Rev Cient UNTRM Cienc Soc Hum*. 2020;2(2). <https://doi.org/10.25127/rcsh.20192.527>
14. Suarez-Murillo A. Contaminación ambiental del agua por el uso indebido de pesticidas agrícolas en plantaciones de banano en el Ecuador. 2024. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8482>
15. Odewade L, Imam A, Adesakin T, Odewade J. Assessment of human faecal contamination on groundwater quality and reporting consequent waterborne diseases in Funtua Metropolis, Katsina State, Nigeria. *Front Water*. 2025;7. <https://doi.org/10.3389/frwa.2025.1561777>
16. Adejuwon J. Contamination of shallow groundwater by pit latrine in Adatan community, Abeokuta, Nigeria. *World Water Policy*. 2025;11(3):794–806. <https://doi.org/10.1002/wwp2.70007>
17. Mbae M, et al. Onsite sanitation systems and contamination of groundwater: a systematic review of the evidence for risk using the source-pathway-receptor model. *PLOS Water*. 2024;3(7):e0000167. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000167>
18. Durán Y, Rivero Z, Parrales L. Factores de riesgo de los indicadores del saneamiento ambiental asociados a la parasitosis intestinales. *MQR Investigar*. 2022;6(3):1537–1563. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.3.2022.1537-1563>
19. Ccorimanya E, Barrios T, Yallico R, Paitán A, Hernández P. Calidad del agua subterránea y riesgo sanitario en el Centro Poblado Santiago, Ica, Perú. *Revista Alfa*. 2025;9(26):752–765. <https://doi.org/10.33996/revistaalfav9i26.379>
20. Gonzales W, Acharte L, Poma J, Sánchez V, Quispe F, Meseguer R. Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*. 2023;25(1):23–31. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.486>
21. Hernández A, Visconti-Lopez F, Vargas-Fernández R. *Escherichia coli* contamination of water for human consumption and its associated factors in Peru: a cross-sectional study. *Am J Trop Med Hyg*. 2023;108(1):187–194. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.22-0240>
22. Ferro P, et al. Determination of antibiotic resistance genes in the interior bay of Puno-Peru, Lake Titicaca. *Scientifica (Cairo)*. 2025;2025(1). <https://doi.org/10.1155/sci5/5571355>