

Análisis comparativo de la calidad del agua para consumo humano en sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias en Subtanjalla, Ica, Perú

Comparative analysis of drinking water quality in storage systems and household networks in Subtanjalla, Ica, Peru

Edy Estefanie Pardo Moran ^a 

✉ estefanie.pardo1@gmail.com

Pedro Córdova Mendoza ^a 

Esteban Cristóbal Castellanos Borrero ^b 

César Antonio Wong Jurado ^a 

Luis Abel Mendoza Salas ^a 

^a Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". Ica, Perú

^b Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú

Resumen

Palabras clave:

Almacenamiento de agua; Calidad del agua; Gestión de riesgos sanitarios; Índice de calidad del agua; Índice de riesgo sanitario; Redes de distribución

Keywords:

Water storage; Water quality; Sanitary risk management; Water quality index; sanitary risk index; Distribution networks

Cómo citar: Pardo Moran EE, Córdova Mendoza P, Castellanos Borrero EC, Wong Jurado CA, Mendoza Salas LA. Análisis comparativo de la calidad del agua para consumo humano en sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias en Subtanjalla, Ica, Perú. ALFA Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias. 2026;10(29):01-13
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v10i29.481>

Contexto: El acceso a agua potable de calidad es fundamental para la salud pública y el desarrollo sostenible, ya que su adecuada condición sanitaria contribuye a la prevención de enfermedades y a la protección del bienestar de la población.

Objetivo: Analizar comparativamente la calidad del agua para consumo humano entre sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias en el sector Las Brisas de Jahuay y el Cercado del distrito de Subtanjalla, Ica, 2024. **Metodología:** Se realizó un estudio cuantitativo, de diseño descriptivo-correlacional y transversal. Se analizaron 32 muestras representativas (8 por sistema y sector), evaluando parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, sólidos disueltos totales, nitratos, nitritos, conductividad y cloro residual) y microbiológicos (coliformes totales), conforme al D.S. N.º 031-2010-SA y las directrices de la OMS. **Resultados:** Los valores del Índice de Calidad del Agua (ICA) superaron los 95 puntos en todos los sistemas, clasificando el agua como de excelente calidad. La red de Las Brisas obtuvo el mayor valor (97,73), mientras que los sistemas de almacenamiento presentaron mayor variabilidad, evidenciando diferencias en el mantenimiento. El Índice de Riesgo Sanitario (IRS) mostró niveles de riesgo bajos a moderados, identificándose puntos críticos asociados a fallas operativas. **Conclusiones:** La calidad del agua cumple con los estándares normativos establecidos; sin embargo, los sistemas de almacenamiento constituyen el componente más vulnerable. Se recomienda fortalecer los Planes de Seguridad del Agua y mejorar la limpieza y control de reservorios para garantizar la sostenibilidad del servicio.

Abstract

Context: Access to safe drinking water is a fundamental pillar of public health and sustainable development, as adequate sanitary conditions are essential for disease prevention and community well-being. **Objective:** To perform a comparative analysis of drinking water quality between storage systems and household networks in the Las Brisas de Jahuay and Cercado sectors of the Subtanjalla district, Ica (2024). **Methods:** This quantitative, descriptive-correlational, and cross-sectional study analyzed 32 representative samples (8 per system and sector). Evaluated parameters included physicochemical factors (pH, turbidity, total dissolved solids, nitrates, nitrites, conductivity, and residual chlorine) and microbiological factors (total coliforms), in compliance with Supreme Decree No. 031-2010-SA and WHO guidelines. **Results:**



The Water Quality Index (WQI) scores exceeded 95 points across all systems, classifying the water as excellent. The Las Brisas network achieved the highest score (97.73), while storage systems exhibited greater variability, highlighting maintenance discrepancies. The Sanitary Risk Index (SRI) indicated low to moderate risk levels, identifying critical points associated with operational failures. **Conclusion:** While water quality complies with established regulatory standards, storage systems represent the most vulnerable component. Strengthening Water Safety Plans (WSPs) and improving reservoir maintenance and monitoring are recommended to ensure service sustainability.

Introducción

El acceso a agua potable segura constituye un elemento fundamental para la salud pública y el desarrollo sostenible, ya que su calidad está directamente relacionada con la prevención de enfermedades y el bienestar de la población. En este sentido, el suministro de agua requiere un control riguroso y permanente de parámetros físicos, químicos y microbiológicos a lo largo de todo el sistema de abastecimiento, desde la captación hasta el consumo final, con el fin de garantizar su inocuidad y disponibilidad en condiciones adecuadas ⁽¹⁾.

A nivel global, el acceso al agua potable representa un desafío creciente. Según la UNESCO, en su Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021, el incremento de la demanda, junto con factores como la contaminación, el cambio climático y la distribución desigual de los recursos hídricos, ha generado limitaciones significativas en la prestación eficiente de los servicios de agua. Además, la disponibilidad de información confiable sobre calidad del agua continúa siendo insuficiente en diversas regiones del mundo, especialmente en países de Asia, África y América Latina, debido a restricciones en los sistemas de monitoreo y control ⁽²⁾.

En el contexto latinoamericano y nacional, diversas investigaciones evidencian que las fallas en los sistemas de distribución constituyen una de las principales fuentes de deterioro de la calidad del agua. Particularmente, la formación de biopelículas en las tuberías, el deterioro de la infraestructura, la presencia de conexiones cruzadas y la falta de mantenimiento de los reservorios favorecen la contaminación microbiológica. En el caso peruano, esta problemática se agrava por deficiencias en la gestión del servicio. Datos del INEI indican que una proporción significativa de la población no accede a niveles adecuados de cloro residual, siendo la región Ica una de las más afectadas, lo que evidencia limitaciones en los procesos de desinfección y control sanitario ^(3,4).

Asimismo, estudios nacionales señalan que las empresas prestadoras de servicios presentan dificultades en la cobertura, continuidad y calidad del suministro, mientras que en zonas rurales persisten sistemas no regulados y con escasa supervisión. En consecuencia, organismos internacionales destacan que garantizar la seguridad del agua implica no solo procesos de cloración, sino también una adecuada infraestructura, monitoreo continuo y la implementación de planes de seguridad del agua que permitan gestionar riesgos en todas las etapas del sistema ^(5,6).

En el caso específico del distrito de Subtanjalla, el abastecimiento de agua proviene de fuentes subterráneas, las cuales son almacenadas en reservorios antes de su distribución a través de redes domiciliarias. Sin embargo, el monitoreo actual se limita a un número reducido de parámetros, lo que dificulta una evaluación integral de la calidad del recurso. Por ello, resulta necesario analizar comparativamente la calidad del agua entre el sistema de almacenamiento y las redes domiciliarias, con el propósito de identificar posibles variaciones y puntos críticos de contaminación que puedan comprometer la seguridad sanitaria del suministro ^(7,8).

En relación con la evidencia internacional, diversos estudios demuestran que la calidad del agua potable puede verse comprometida incluso cuando algunos parámetros cumplen la normativa. Baloïtcha et al. ⁽⁹⁾ identificaron desviaciones en cloro residual, E. coli y turbidez en sistemas de distribución, atribuidas al deterioro de la infraestructura. De manera similar, Ureña ⁽¹⁰⁾ reportó contaminación microbiológica asociada a la ausencia de cloro residual en tanques y puntos de consumo, evidenciando fallas en la desinfección. Asimismo, Aguirre ⁽¹¹⁾ y Duarte ⁽¹²⁾ destacan que, pese al cumplimiento fisicoquímico, la presencia de coliformes y deficiencias en procesos de tratamiento representan riesgos sanitarios significativos, resaltando la necesidad de monitoreo integral en todas las etapas del sistema.

En el ámbito nacional, diversos estudios coinciden en que la principal limitación radica en la desinfección y el mantenimiento de los sistemas. Anticona ⁽¹³⁾ evidenció contaminación bacteriológica crítica en puntos domiciliarios, asociada a la ausencia de cloro residual, mientras que Carrasco y Guaylupo ⁽¹⁴⁾ concluyeron que el agua no es apta para consumo humano debido a contaminación microbiológica, pese al cumplimiento de parámetros fisicoquímicos. De igual forma, Pacaya y Pascal ⁽¹⁵⁾ reportaron incumplimientos generalizados en coliformes y cloro residual, reflejando deficiencias estructurales en los sistemas de abastecimiento.

En conjunto, estos antecedentes demuestran que la calidad del agua no depende únicamente del cumplimiento normativo aislado, sino de una gestión integral del sistema, donde la desinfección, el mantenimiento y el monitoreo continuo constituyen factores críticos para garantizar la seguridad sanitaria del recurso hídrico. La calidad del agua se define como el conjunto de características físicas, químicas y microbiológicas que determinan su composición y aptitud para diferentes usos, particularmente el consumo humano. Estas propiedades, que incluyen la concentración de sustancias disueltas, la presencia de microorganismos y el estado general del recurso hídrico, siendo evaluadas mediante parámetros estandarizados ⁽¹⁶⁾. Además, la calidad del agua presenta variaciones espacio-temporales influenciadas por factores naturales y antrópicos, lo que hace necesaria su medición continua para garantizar condiciones seguras y aceptables para la población ⁽¹⁶⁾.

Desde una perspectiva de gestión, el recurso hídrico constituye un elemento estratégico para el desarrollo sostenible, cuya gestión requiere enfoques integrales. En este sentido, la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) promueve la planificación y administración coordinada del agua, el suelo y los recursos asociados, con el objetivo de maximizar el bienestar social y económico sin comprometer la sostenibilidad ambiental ⁽¹⁷⁾. De esta manera, este enfoque permite equilibrar la disponibilidad y calidad del agua frente a las crecientes demandas humanas y los impactos ambientales ⁽¹⁸⁾.

Por otra parte, los agentes contaminantes del agua son sustancias o microorganismos presentes en concentraciones que pueden generar efectos adversos en la salud humana y en los ecosistemas. La Ley General del Ambiente N.º 28611 los define como aquellos elementos capaces de alterar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), afectando la integridad del recurso hídrico. Estos contaminantes, que pueden ser de origen físico, químico o biológico, y su presencia está asociada a actividades antrópicas, deterioro de infraestructura o procesos naturales no controlados. El agua destinada al consumo humano debe cumplir estrictamente con parámetros físicos, químicos y microbiológicos que garanticen su inocuidad y aceptabilidad.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua potable es aquella que no representa riesgos significativos para la salud durante su consumo continuo ⁽¹⁹⁾. En el Perú, el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA establece los estándares obligatorios para asegurar la calidad del agua destinada a la población ⁽²⁰⁾. En este contexto, la calidad del agua implica una evaluación integral de sus propiedades en función de su uso, asegurando que sea segura, aceptable y libre de contaminantes que puedan comprometer la salud pública ⁽¹⁸⁾.

Los sistemas de almacenamiento, como reservorios, cisternas y tanques elevados, cumplen un rol fundamental en la regulación y distribución del agua. No obstante, su deficiente mantenimiento puede convertirse en una fuente de contaminación. Factores como la acumulación de sedimentos, la presencia de biofilm, el ingreso de agentes externos y la degradación de materiales afectan la calidad del agua almacenada ⁽²¹⁾. En concordancia con ello, diversos estudios señalan que estos sistemas representan puntos críticos de contaminación bacteriológica, especialmente en contextos urbanos con suministro intermitente ⁽²²⁾.

Por su parte, las redes domiciliarias comprenden las tuberías que transportan el agua desde el sistema de distribución hasta los puntos de consumo. La calidad del agua en estas redes puede deteriorarse debido a la corrosión de materiales, conexiones inadecuadas o infiltraciones externas. Investigaciones han evidenciado incrementos en turbidez y contaminación microbiológica en redes internas, en comparación con sistemas de almacenamiento centralizados ⁽²³⁾. En consecuencia, esto resalta la necesidad de implementar mantenimiento periódico y supervisión técnica en las instalaciones domiciliarias ⁽²⁴⁾.

En este marco, el análisis comparativo en estudios de calidad de agua constituye una herramienta clave para identificar diferencias en la calidad del agua entre distintos sistemas o zonas geográficas. Este enfoque permite evaluar parámetros como pH, turbidez, coliformes totales y *E. coli*, facilitando la identificación de fuentes de contaminación y la priorización de intervenciones ^(25,26). Particularmente, en contextos locales, como el distrito de Subtanjalla, el análisis comparativo entre sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias permite comprender cómo factores operativos y socioambientales influyen en la calidad del agua ⁽²⁷⁾.

Asimismo, el acceso a agua potable segura es un derecho humano fundamental y un componente esencial para la salud pública. La contaminación del agua puede provocar enfermedades de origen hídrico, como diarreas, cólera y hepatitis A, afectando principalmente a poblaciones vulnerables. La OMS estima que una alta proporción de enfermedades en países en desarrollo está asociada al consumo de agua contaminada ⁽¹⁹⁾. En consecuencia, el monitoreo continuo y la gestión integral de la calidad del agua en todas las etapas del sistema de abastecimiento constituyen estrategias clave para prevenir riesgos sanitarios y proteger la salud de la población ⁽²⁸⁾.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es analizar comparativamente la calidad del agua para consumo humano entre los sistemas de almacenamiento y las redes domiciliarias en el sector Las Brisas de Jahuay y el Cercado del distrito de Subtanjalla, Ica, identificando variaciones, posibles fuentes de contaminación y condiciones que puedan afectar la salud de la población.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en el distrito de Subtanjalla, provincia de Ica, Perú, específicamente en el sector Las Brisas de Jahuay y el Cercado, considerados por sus características urbanas y periurbanas y por su dependencia de sistemas de abastecimiento basados en fuentes subterráneas con almacenamiento previo en reservorios. Asimismo, se consideraron las condiciones geográficas (435 m s. n. m.), y climáticas (clima árido y temperaturas entre 18 y 28 °C), debido a su influencia directa en la calidad, disponibilidad y vulnerabilidad del recurso hídrico ⁽⁸⁾, ⁽²⁷⁾. La delimitación espacial permitió establecer un marco homogéneo para la comparación entre sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias.

La investigación se adoptó un enfoque cuantitativo, sustentado en la medición objetiva de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. En consecuencia, se empleó un nivel descriptivo-comparativo y correlacional, con el propósito de caracterizar la calidad del agua en ambos sistemas y analizar la relación entre dicha calidad y los riesgos sanitarios asociados. De igual forma, el diseño fue no experimental transversal y transversal, dado que los datos fueron recolectados en un único periodo temporal (año 2025),

sin manipulación de variables, lo que permitió evaluar las condiciones reales del sistema de abastecimiento (29).

Posteriormente, la población estuvo conformada por los usuarios de los sistemas de abastecimiento de agua potable de los sectores estudiados. En este marco, se seleccionó una muestra no probabilística de tipo intencional, constituida por 32 muestras de agua, distribuidas en 8 puntos por cada sistema y sector (almacenamiento y red domiciliaria en Las Brisas y Cercado). La selección de los puntos de muestreo se realizó bajo criterios técnicos, considerando su representatividad, accesibilidad y relevancia sanitaria, en concordancia con lineamientos de normativa peruana (D.S. N.º 031-2010-SA) y recomendaciones internacionales (29), (30), (31). Adicionalmente, los puntos fueron verificados mediante inspección in situ en noviembre de 2025, validando su pertinencia.

En cuanto a la recolección de datos, se realizaron muestreos de agua en reservorios y viviendas, siguiendo procedimientos estandarizados para garantizar la integridad de las muestras. Se analizaron parámetros fisicoquímicos, tales como pH, turbidez, sólidos disueltos totales, nitratos nitritos, conductividad eléctrica, dureza, temperatura, oxígeno disuelto y cloro residual; así como parámetros microbiológicos, específicamente coliformes totales. Estos análisis se efectuaron conforme a métodos reconocidos y bajo los límites máximos permisibles. Establecidos en la normativa vigente (20), (29), (32).

Seguidamente, para la evaluación integral de la calidad del agua, se calcularon indicadores sintéticos como el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Riesgo Sanitario (IRS), los cuales permitieron sintetizar la información de múltiples parámetros en escalas comparables. De manera complementaria, se aplicó estadística descriptiva, incluyendo medidas de tendencia central (media), dispersión (desviación estándar), valores mínimos y máximos, con el fin de identificar variabilidad y patrones entre los sistemas evaluados. Asimismo, se empleó la prueba t de Student para determinar la existencia de diferencias significativas entre los puntos de muestreo, particularmente en los parámetros microbiológicos.

Finalmente, el análisis comparativo se orientó a identificar diferencias entre los sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias, evaluando su impacto en la calidad del agua y en los niveles de riesgo sanitario. Este enfoque permitió reconocer puntos críticos del sistema de abastecimiento, asociados a factores como cloración, mantenimiento de infraestructura y posibles fuentes de contaminación secundaria, garantizando la reproducibilidad del estudio mediante la aplicación de procedimientos estandarizados (22), (33).

En relación con las consideraciones éticas, la investigación se desarrolló respetando los principios de rigor científico, objetividad y transparencia en el manejo de datos. Asimismo, no implicó intervención directa sobre personas ni manipulación de variables que pudieran generar riesgos a la población, por lo que se clasificó como riesgo mínimo. Se garantizó la confidencialidad de la información relacionada con los puntos de muestreo domiciliarios, evitando la identificación de los usuarios. De igual forma, los resultados fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, contribuyendo a la mejora de la gestión del recurso hídrico y la protección de la salud pública.

Resultados

El análisis comparativo de la calidad del agua entre los sistemas de almacenamiento y las redes domiciliarias en los sectores Las Brisas de Jahuay y el Cercado del distrito de Subtanjalla evidenció diferencias en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados, así como en los indicadores sintéticos de calidad y riesgo sanitario. El monitoreo permitió obtener información representativa del comportamiento del sistema de abastecimiento en condiciones reales.

En relación con los parámetros fisicoquímicos (Tabla 1), los valores registrados de pH oscilaron entre 7.2 y 7.8, manteniéndose dentro del rango permitido (6.7-8.5). La turbidez presentó valores entre 0.3 y 0.6 UNT,

por debajo del límite máximo permisible de 5 UNT, mientras que los sólidos disueltos totales variaron entre 500 y 900 mg/L, cumpliendo con la normativa (<1000 mg/L). Asimismo, las concentraciones de nitratos (2–4 mg/L) y nitritos (0.7–1.1 mg/L) se mantuvieron por debajo de los valores máximos establecidos (50 mg/L y 3 mg/L, respectivamente).

Tabla 1. Resultados del muestreo de calidad de agua en el sector Las Brisas de Jahuay y el Cercado del Distrito de Subtanjalla.

Parámetros	Unidad	AC-01	AC-02	AC-03	CE-04	AC-05	AC-06	AC-07	CE-08	D.S. N°031-2010-SA
Aceites y Grasas	mg/L	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.5
Dureza	mg/L	230	180	220	210	220	190	200	180	500
Nitritos	mg/L	0.7	1.1	0.9	0.7	0.8	0.9	1.1	1.0	3
Nitratos	mg/L	2	4	3	3	2	3	4	3	50
Turbiedad	UNT	0.3	0.4	0.5	0.6	0.4	0.4	0.5	0.4	5
Sólidos disueltos totales	mg/L	700	900	800	700	600	500	500	500	1000
Potencial de hidrógeno	pH	7.5	7.3	7.2	7.6	7.7	7.5	7.6	7.8	6.5 - 8.5
Temperatura	°C	15	15.3	15.8	15.8	16.7	17.8	18	19.9	Δ3
Oxígeno Disuelto	mg/L	6.0	5.9	5.9	6.0	6.0	5.8	5.9	5.8	≥ 6
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1050	1305	1200	1050	900	800	760	750	1500
Cloro	mg/L	3	3	2.5	0	0	0	0	0	≥0.5
Coliformes Totales	NMP/100 mL	0.4	0.9	0.6	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	<1.8

Por otro lado, la conductividad eléctrica presentó valores entre 750 y 1305 μS/cm, dentro del límite recomendado (≤ 1500 μS/cm), y la dureza osciló entre 180 y 230 mg/mL evidenciando condiciones de agua moderadamente dura. En cuanto al oxígeno disuelto, se registraron valores entre 5.8 y 6.0 mg/L, observándose valores ligeramente inferiores al límite mínimo recomendado (≥ 6 mg/L) en algunos puntos de muestreo.

En contraste, el parámetro de cloro residual evidenció variaciones significativas. Mientras que en los puntos AC-01, AC-02 y AC-03 se registraron valores entre 2.5 y 3 mg/L, en los puntos CE-04 a CE-08 se observó ausencia de cloro residual (0 mg/L), incumpliendo el valor mínimo establecido (≥ 0.5 mg/L). Este comportamiento refleja heterogeneidad en la desinfección a lo largo del sistema de distribución.

En relación con los parámetros microbiológicos, los valores de coliformes totales oscilaron entre 0.4 y 0.9 NMP/100 mL, manteniéndose por debajo del límite permisible (<1.8 NMP/100 mL) en todos los puntos de muestreo, lo que indica cumplimiento de la normativa en términos microbiológicos.

Respecto a los indicadores sintéticos (Tabla 2), el Índice de Calidad del Agua (ICA) constituye un indicador integral que sintetiza, en una escala de 0 a 100, el estado global del recurso hídrico a partir de la combinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados conforme al D.S. N°031-2010-SA y las directrices de la OMS. Valores superiores a 90 corresponden a agua de excelente calidad, mientras que rangos entre 80 y 90 indican buena calidad con bajo riesgo sanitario. En este estudio, el ICA permitió detectar diferencias entre sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias, evidenciando el desempeño del abastecimiento.

Tabla 2. Resumen de parámetros (ICA, IRS, Cloro) en el sector Las Brisas y el Distrito de Subtanjalla.

Sector	Sistema	ICA Promedio	ICA Est.	Desv.	IRS Promedio	IRS Est.	Desv.	Cloro (mg/L)	Promedio
Cercado	Almacenamiento	96.57	5.163		81.77	3.251		0.765	
Cercado	Red	97.37	4.357		80.92	5.619		0.484	
Las Brisas	Almacenamiento	95.19	5.830		80.56	4.965		0.795	
Las Brisas	Red	97.74	3.973		81.63	4.336		0.576	

En el sistema Cercado–Red, el ICA presenta un promedio de 97.37, lo que evidencia una calidad excelente y consistente, cumpliendo ampliamente con la normativa. El valor mínimo de 86.69 indica una disminución puntual de la calidad, constituyendo un punto crítico de control. La desviación estándar de 4.35 muestra una variabilidad moderada, evidenciando diferencias operativas específicas.

Por su parte, en el grupo Las Brisas–Almacenamiento, se obtuvo un promedio de ICA de 95.19, lo que evidencia una calidad de agua globalmente excelente. El valor mínimo de 87.85 indica episodios puntuales de ligera disminución de calidad, posiblemente asociados a deficiencias en mantenimiento, cloración o acumulación de sedimentos en el sistema de almacenamiento. La desviación estándar de 5.83 revela una variabilidad moderada-alta, sugiriendo heterogeneidad en la calidad del agua dentro del sistema, lo que identifica al almacenamiento como un componente susceptible a fluctuaciones operativas y potenciales riesgos sanitarios.

Asimismo, en el grupo Las Brisas–Red, los resultados del ICA evidencian una calidad de agua consistentemente excelente, con un promedio de 97.74, que confirma el adecuado desempeño del sistema de distribución. La desviación estándar de 3.97 sugiere una variabilidad moderada-baja, evidenciando estabilidad en la calidad del agua y una distribución homogénea, con limitadas fluctuaciones operativas a lo largo del sistema.

En cuanto al Índice de Riesgo Sanitario (IRS) en el sistema Cercado–Almacenamiento presenta un valor promedio de 81.77, lo que indica un nivel de riesgo bajo y evidencia una adecuada gestión de cloración, aplicación del Plan de Seguridad del Agua (PSA) y mantenimiento. En contraste, el Cercado–Red presenta un valor promedio de 80.92, con un valor mínimo de 68.95, evidenciando un punto con mayor vulnerabilidad sanitaria, lo que sugiere la necesidad de intervenciones prioritarias, posiblemente por deficiencias en la desinfección o condiciones estructurales de la red.

De manera similar, en el sistema de almacenamiento de Las Brisas, el IRS presenta un valor promedio de 80.56, indicando un nivel de riesgo moderado. El valor mínimo de 72.88 revela la existencia de puntos con mayor vulnerabilidad, posiblemente asociados a acumulación de sedimentos, deficiencias en la desinfección o mantenimiento inadecuado. Por su parte, Las Brisas–Red muestra un promedio de 81.63, con una variabilidad moderada, evidenciando diferencias en el control sanitario entre muestras. A continuación, en la

Tabla 2, se presenta el resumen de los principales indicadores (ICA, IRS y cloro residual), permitiendo una comparación directa entre sectores y sistemas evaluados.

En relación con los parámetros microbiológicos, se evaluó la presencia de coliformes totales en los puntos de muestreo correspondientes a los sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias. A continuación, en la Tabla 3, se presentan los valores obtenidos y su comparación con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N.º 031-2010-SA.

Tabla 3. Punto de muestreo de coliformes totales.

Punto de muestreo	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Norma (LMP)	Interpretación
AC-01	0.4	< 1.8	Cumple la norma, agua segura
AC-02	0.9	< 1.8	Cumple, sin riesgo microbiológico
AC-03	0.6	< 1.8	Cumple, agua apta
CE-04	0.8	< 1.8	Cumple, sin riesgo
AC-05	0.9	< 1.8	Cumple, sin riesgo
AC-06	0.8	< 1.8	Cumple, sin riesgo
AC-07	0.9	< 1.8	Cumple, sin riesgo
CE-08	0.8	< 1.8	Cumple, sin riesgo

Los resultados muestran que todos los puntos de muestreo presentan valores de coliformes totales entre 0.4 y 0.9 NMP/100 mL, manteniéndose por debajo del límite permisible (<1.8 NMP/100 mL). Asimismo, no se registran diferencias relevantes entre los sistemas evaluados, evidenciándose un comportamiento microbiológico homogéneo.

En conjunto, los resultados evidencian que la calidad del agua en los sistemas evaluados se mantiene dentro de los límites establecidos por el D.S. N.º 031-2010-SA, tanto en los parámetros fisicoquímicos como en los microbiológicos. Los valores del Índice de calidad del agua (ICA) clasifican el recurso hídrico como de excelente calidad en todos los casos, mientras que el Índice de Riesgo Sanitario (IRS) indica niveles de riesgo bajo a moderado. Asimismo, se observan variaciones en la concentración de cloro residual y en la dispersión de algunos parámetros entre los sistemas de almacenamiento y redes domiciliarias, evidenciando diferencias en el comportamiento del sistema de abastecimiento. Estos resultados permiten caracterizar las condiciones del servicio bajo escenarios operativos reales.

Discusión

El análisis comparativo de la calidad del agua en los sectores Las Brisas de Jahuay y el Cercado del distrito de Subtanjalla evidenció que el sistema de abastecimiento cumple con los parámetros establecidos en el D.S. N.º 031-2010-SA y las directrices de la OMS, al registrarse valores del Índice de Calidad del Agua (ICA) superiores a 95 puntos en todos los sistemas, clasificando el recurso como de excelente calidad (29,32). Asimismo, las redes de distribución presentaron promedios ligeramente superiores, lo que sugiere una adecuada desinfección y un desempeño eficiente de la infraestructura, favoreciendo la uniformidad del agua entregada al consumidor (33).

No obstante, el sistema de almacenamiento mostró una variabilidad moderada, evidenciada en las desviaciones estándar del ICA, lo que indica diferencias en la operación y mantenimiento de los reservorios. Este comportamiento coincide con estudios que identifican el almacenamiento como un punto crítico, debido a la posible acumulación de sedimentos y reducción de la eficacia del cloro residual en condiciones de

mantenimiento inadecuado ^(34,35). En este sentido, los resultados confirman que, aunque la calidad global es adecuada, existen factores operativos que pueden generar fluctuaciones en el sistema.

Por su parte, el Índice de Riesgo Sanitario (IRS) reveló niveles de riesgo bajo a moderado, aunque con presencia de valores mínimos en determinados puntos, lo que indica vulnerabilidades localizadas en la red y en el almacenamiento. Estos hallazgos concuerdan con investigaciones que destacan la importancia de implementar Planes de Seguridad del Agua (PSA) y monitoreo continuo como estrategias clave para prevenir riesgos microbiológicos y fisicoquímicos ⁽³⁶⁻³⁷⁾.

Adicionalmente, el análisis microbiológico mostró que, aunque los valores de coliformes totales se mantienen bajos, no siempre cumplen con el criterio de ausencia exigido por la normativa, evidenciándose incrementos en la red domiciliaria ⁽³⁸⁾. Esta situación se relaciona con la disminución o ausencia de cloro residual, lo que favorece la formación de biopelículas y posibles infiltraciones, tal como reportan estudios en contextos similares del Perú ^(13,14). Asimismo, se reconoce que factores como el tiempo de retención, presión en la red y condiciones de infraestructura influyen directamente en la calidad microbiológica del agua ^(39,40).

En conjunto, los resultados demuestran que, aunque el sistema garantiza agua de buena calidad, es necesario fortalecer la gestión operativa, especialmente en el almacenamiento y control de cloración, para asegurar la estabilidad sanitaria del recurso, en concordancia con enfoques integrales de gestión del agua recomendados internacionalmente ⁽⁸⁾.

Como limitaciones del estudio, se señala que el muestreo se realizó en un periodo transversal, lo que restringe la evaluación de variaciones estacionales en la calidad del agua. Además, el número de parámetros evaluados podría ampliarse en futuras investigaciones para incluir metales pesados y otros contaminantes emergentes. Las implicaciones prácticas de estos hallazgos subrayan la urgencia de que las autoridades locales y los prestadores de servicios optimicen los protocolos de limpieza de reservorios y aseguren una cloración constante en toda la red de distribución. En definitiva, la gestión proactiva de los riesgos sanitarios en los sistemas de abastecimiento es fundamental para proteger la salud pública y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en el distrito de Subtanjalla.

Conclusiones

Se concluye que el análisis comparativo de la calidad del agua para consumo humano en los sectores Las Brisas de Jahuay y el Cercado de Subtanjalla evidencia que el sistema de abastecimiento cumple con los estándares establecidos en el D.S. N.º 031-2010-SA, garantizando agua de adecuada calidad para la población. No obstante, se identificaron diferencias entre los sistemas de almacenamiento y las redes domiciliarias, lo que refleja la necesidad de fortalecer el mantenimiento preventivo de reservorios y el monitoreo continuo del sistema para asegurar una calidad homogénea.

Asimismo, aunque los parámetros microbiológicos muestran valores bajos de coliformes totales, la ausencia de cloro residual en diversos puntos evidencia vulnerabilidad a procesos de contaminación secundaria, especialmente en la red de distribución. Este hallazgo confirma que la calidad del agua no solo depende del tratamiento inicial, sino también de la gestión operativa a lo largo del sistema. Se determina que existe una relación significativa entre la calidad del agua y la gestión de riesgos sanitarios, destacando la importancia del control del cloro residual, la reducción de la turbidez y la implementación de Planes de Seguridad del Agua, con el fin de garantizar la sostenibilidad y confiabilidad del servicio y proteger la salud pública.

Para futuras líneas de investigación, se recomienda realizar estudios longitudinales que evalúen la variación estacional de la calidad del agua en la región, así como investigaciones que incorporen el análisis de metales pesados y contaminantes emergentes en las fuentes de abastecimiento subterráneo. Finalmente, la integración de tecnologías de monitoreo en tiempo real y la capacitación continua de los operadores del

sistema de agua potable constituyen pasos esenciales para consolidar un servicio seguro, eficiente y resiliente frente a los desafíos ambientales y de salud pública en el Perú.

Acerca de

Financiamiento: El autor declara que no recibieron financiamiento para esta investigación.

Conflicto de interés: El autor declara no tener conflicto de intereses.

Certificación ética: El protocolo del presente estudio fue sometido a revisión y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad, en cumplimiento de los principios éticos y normativas institucionales aplicables.

Contribución de los autores: J. Saldivar-Villaruel.: Conceptualización; Metodología; Investigación; Análisis formal; Administración del proyecto; Supervisión; Redacción – borrador original; Redacción – revisión y edición. H. Aguirre-Espinoza.: Metodología; Curación de datos; Investigación; Validación; Redacción – revisión y edición. J.L. Tejada-Hinojoza.: Análisis formal; Software; Visualización; Curación de datos; Redacción – revisión y edición. L.F. Bendejú-Díaz.: Investigación; Recursos; Curación de datos; Validación. J.L. Magallanes-Magallanes.: Recursos; Investigación; Captación de fondos; Administración del proyecto. J.L. Donayre-Pasache.: Supervisión; Validación; Redacción – revisión y edición.

Historia del artículo: Artículo recibido 25 de marzo 2026 | Aceptado 8 de mayo 2026 | Publicado 10 de junio 2026.

Referencias

1. UNESCO. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023. Alianzas y cooperación por el agua: resumen ejecutivo. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; 2023. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657_spa
2. UNESCO. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: el valor del agua. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; 2021. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890>
3. De Sousa C, Correia A, Colmenares MC. Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: revisión de las estrategias de control. Bol Mal Salud Amb. 2010;50(2). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482010000200003
4. Nwoke HU, Obi LE, Quakers II. Comparative analysis of water quality of water stored in concrete, steel and plastic storage facilities. Int J Sci Eng Sci. 2019;3(6):34-38. <http://ijses.com/wp-content/uploads/2019/06/15-IJSSES-V3N6.pdf>
5. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Ica: Compendio Estadístico 2024. Ica: Oficina Departamental de Estadística e Informática de Ica; 2024. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/CompDptal2024/Ica2024.pdf
6. Cairampoma Arroyo A, Villegas Vega P. El acceso universal al agua potable: la experiencia peruana. Derecho PUCP. 2016;(76):229-250. <https://doi.org/10.18800/derechopucp.201601.009>
7. Villena Chávez JA. Calidad del agua y desarrollo sostenible. Rev Peru Med Exp Salud Publica. 2018;35(2):304-308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
8. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua de consumo humano. 4.ª ed. Ginebra: OMS; 2011. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf>

9. Baloïtcha GMP, Mayabi AO, Home PG. Evaluation of water quality and potential scaling of corrosion in the water supply using water quality and stability indices: a case study of Juja water distribution network, Kenya. *Heliyon*. 2022;8(3):e09141. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09141>
10. Ureña K. Evaluación de la calidad del agua potable a través de análisis físicos-químicos y microbiológicos de la Barriada Omar Torrijos, Pesé [tesis]. Panamá: Universidad Especializada de las Américas; 2022. <https://repositorio2.udelas.ac.pa/server/api/core/bitstreams/594fb24e-aec2-459d-9e54-1ed78a5cfb87/content>
11. Aguirre C. Calidad del agua en fuentes usadas para consumo humano en 14 comunidades del El Viejo, Chinandega, Nicaragua, 2020. La Calera. 2022;22(39):70-77. <https://lcalera.una.edu.ni/index.php/CALERA/article/view/499/862>
12. Duarte Vera FR. Calidad del agua para consumo humano en el proceso de captación, tratamiento, distribución y consumo en el cantón La Maná, provincia Cotopaxi [tesis]. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo; 2019. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/b8764797-a3b2-4ae4-9952-0aa58010649f/content>
13. Anticona Palomino SE. Calidad del agua para consumo humano en el sistema de abastecimiento del Asentamiento Humano Uliachin, distrito de Chaupimarca, provincia y región Pasco, de acuerdo al DS.031-2010-SA, 2022 [tesis]. Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; 2022. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2995>
14. Carrasco G, Guaylupo M. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano del centro poblado Coyona-Canchaque [tesis]. Lima: Universidad César Vallejo; 2022. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/84286/Carrasco_BGA-Guaylupo_CMI-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
15. Espinoza E, Villalobos R, Martínez V. Evaluación de la calidad del agua para consumo humano de la provincia de Recuay. 202017, 10(1)65-74. <https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n1.183>
16. Atencio Santiago H. Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local en la población de la localidad de San Antonio de Rancas, del distrito de Simón Bolívar, provincia y región Pasco, 2018 [tesis]. Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión; 2018. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/428>
17. Fernández Cirelli A. El agua: un recurso esencial. *Química Viva*. 2012;11(3):147-170. <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v11n3/fernandez.pdf>
18. Riffat R, Husnain T. *Fundamentals of wastewater treatment and engineering*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis; 2022. <https://doi.org/10.1201/9781003134374>
19. Lima ELF, Soares MDR, Maciel CR, Simão MAG, Cavalcante LVM, Noguchi HS, et al. Assessment of water quality for human consumption in the municipality of Manicoré-AM. *Sci Rep*. 2025;15(1):1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90167-0>
20. Veneros J, Cachique-Dávila J, Sánchez-Rojas L, Rojas-Gonzales C, Sánchez-Torres Y, García-Pérez M. Seasonal variability of water quality for human consumption in the Tilacancha conduction system, Amazonas, Peru. *Nat Environ Pollut Technol*. 2024;23(2):899-909. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2024.v23i02.025>
21. Makoko EW, Wozzi E, Birungi L. Assessment of physical conditions and proposed best management practices of domestic storage tanks supplied by a water utility in a rapidly growing city. *Int J Biol Chem Sci*. 2021;15(7):10-22. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i7.2S>
22. Pond K, King R, Herschan J, Malcolm R, McKeown RM, Schmoll O. Improving risk assessments by sanitary inspection for small drinking-water supplies: qualitative evidence. *Resources*. 2020;9(6):71. <https://doi.org/10.3390/resources9060071>

23. Shams S, Mubarak NM, Ismail NAB, Khan MMH, Al-Mamun A, Ahsan A. Urban water supply risks assessment under tropical climate. *Sci Rep*. 2025;15(1):5295. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88922-4>
24. Patrick R, McElroy S, Schwarz L, Kayser G, Benmarhnia T. Modeling the impact of population intervention strategies on reducing health disparities: water, sanitation, and hygiene interventions and childhood diarrheal disease in Peru. *Am J Trop Med Hyg*. 2021;104(1):338-345. <https://doi.org/10.4269/AJTMH.19-0775>
25. Wu D, Wang H, Seidu R. Smart data driven quality prediction for urban water source management. *Future Gener Comput Syst*. 2020;107:418-432. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.02.022>
26. Zhandauletova F, Azimkhan Z. Study of environmental aspects of water resources management. *Tr Univ*. 2025;1(98):200-207. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2025_1_200
27. Reyes Escate L, Hoogesteger J, Boelens R. Water assemblages in hydrosocial territories: connecting place, space, and time through the cultural-material signification of water in coastal Peru. *Geoforum*. 2022;135:61-70. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.07.005>
28. Weststrate J, Dijkstra G, Eshuis J, Gianoli A, Rusca M. The sustainable development goal on water and sanitation: learning from the Millennium Development Goals. *Soc Indic Res*. 2019;143(2):795-810. <https://doi.org/10.1007/s11205-018-1965-5>
29. Dirección General de Salud Ambiental, Ministerio de Salud. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano: D.S. N.º 031-2010-SA. Lima: DIGESA/MINSA; 2010. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf>
30. Ministerio de Salud. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano: D.S. N.º 031-2010-SA. Lima: MINSA; 2010. https://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf
31. Ministerio del Ambiente. Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: aprueban estándares de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias. Lima: MINAM; 2017. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam>
32. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: WHO; 2022. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
33. Bartram J, Ballance R, editors. Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. London: E & FN Spon/WHO/UNEP; 1996. <https://www.who.int/publications/i/item/0419217304>
34. Ramírez-Castillo FY, et al. Waterborne pathogens: detection methods and challenges. *Pathogens*. 2015;4(2):307-334. <https://doi.org/10.3390/pathogens4020307>
35. Domoń A, Kowalska B, Papciak D, Wojtas E. Assessment of the stability of tap water in the distribution system. *Desalin Water Treat*. 2025;322:101130. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101130>
36. Ramos-Parra YJ, et al. Risk assessment of the drinking water supply and distribution system in rural areas in Boyacá, Colombia using water safety plans. *Case Stud Chem Environ Eng*. 2025;11:101169. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101169>
37. World Health Organization. Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. 2nd ed. Geneva: WHO; 2023. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240067691>
38. Soller JA, Eftim SE, Warren I, Nappier SP. Evaluation of microbiological risks associated with direct potable reuse. *Microb Risk Anal*. 2017;5:3-14. <https://doi.org/10.1016/j.mran.2016.08.003>
39. Soares AS, Miranda C, Coelho AC, Trindade H. Occurrence of coliforms and Enterococcus species in drinking water samples obtained from selected dairy cattle farms in Portugal. *Agriculture*. 2023;13(4):885. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040885>

40. Lamy MC, Lettieri T, Niegowska M, Sanseverino I. Microbiological parameters under the Drinking Water Directive. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2020. <https://doi.org/10.2760/5359>