



Calidad del agua subterránea y riesgo sanitario en el Centro Poblado Santiago, Ica, Perú

Groundwater quality and health risk in the Santiago Population Center, Ica, Peru

Qualidade das águas subterrâneas e risco para a saúde no Centro Populacional de Santiago, Ica, Peru

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.379>

Edgar Humberto Ccorimanya Cancho
20154529@unica.edu.pe

Teresa Oriele Barrios Mendoza
oriele.barrios@unica.edu.pe

Ramiro Madonio Yallico Calmett
ryallico@unica.edu.pe

Antonio Wilmer Paitán Cahua
antonio.paitan@unica.edu.pe

Patricia Del Rosario Hernández Maytahuari
patricia.hernandez@unica.edu.pe

Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Ica, Perú

Artículo recibido: 4 de marzo 2025 / Arbitrado: 21 de abril 2025 / Publicado: 1 de mayo 2025

RESUMEN

La evaluación de la calidad del agua subterránea es fundamental para garantizar el acceso a un recurso seguro y saludable. En este estudio el objetivo fue analizar y determinar la calidad del agua subterránea y su influencia en la aptitud para el consumo humano en el Centro Poblado Santiago, mediante una investigación descriptiva, aplicada y longitudinal. Se recolectaron muestras en tres pozos tradicionales durante tres meses, midiendo parámetros fisicoquímicos y microbiológicos in situ. Los resultados mostraron que el pH promedio fue de 6.9, la temperatura de 18°C, y la turbiedad menor a 1 UTN. No se detectó presencia de coliformes totales ni E. coli, lo cual indica ausencia de contaminación fecal. Sin embargo, se encontraron trazas de nitratos por encima del umbral permitido en uno de los puntos. Estos hallazgos refieren que, si bien el agua cumple con algunos estándares de potabilidad, existen riesgos puntuales que requieren monitoreo constante. Se concluye que es necesario implementar un sistema sostenible de control de calidad del agua para prevenir riesgos sanitarios en la población.

Palabras clave: Área de conservación regional; Bosques de *Polylepis incarum*; Conocimiento tradicional local; Diversidad florística y faunística; Ecosistema altoandino peruano; Índices de diversidad ecológica

ABSTRACT

Growing concern about ecosystem loss addresses the ecological and cultural importance of the high Andean ecosystem of Sachapata, in Nuñoa, Puno, Peru, dominated by *Polylepis incarum* forests. The objective was to assess floristic and ecological diversity as a basis for its conservation. An evaluative, descriptive, and analytical methodology was applied, establishing systematic plots for quantitative recording of flora and fauna, which allowed for scientific validation of the results. 182 plant species, 81 bird species, 9 mammal species, 2 amphibian species, and 3 reptile species were identified, highlighting high diversity indices (Shannon-Wiener: 3.892 for flora and 4.595 for fauna). In addition, the traditional knowledge of local communities was systematized, highlighting the cultural value of the forest. It is concluded that Sachapata constitutes a biological and cultural refuge of regional significance, and its recognition as a Regional Conservation Area is recommended to ensure its protection and sustainable use.

Key words: Regional conservation area; *Polylepis incarum* forests; Local traditional knowledge; Floristic and faunal diversity; Peruvian high Andean ecosystem; Ecological diversity indices

RESUMO

A crescente preocupação com a perda de ecossistemas aborda a importância ecológica e cultural do ecossistema alto andino de Sachapata, em Nuñoa, Puno, Peru, dominado por florestas de *Polylepis incarum*. O objetivo foi avaliar a diversidade florística e ecológica como base para a sua conservação. Foi aplicada uma metodologia avaliativa, descritiva e analítica, estabelecendo parcelas sistemáticas para registro quantitativo da flora e da fauna, que permitiu a validação científica dos resultados. Foram identificadas 182 espécies de plantas, 81 espécies de aves, 9 espécies de mamíferos, 2 espécies de anfíbios e 3 espécies de répteis, destacando-se elevados índices de diversidade (Shannon-Wiener: 3.892 para a flora e 4.595 para a fauna). Além disso, foi sistematizado o conhecimento tradicional das comunidades locais, evidenciando o valor cultural da floresta. Conclui-se que Sachapata constitui um refúgio biológico e cultural de importância regional, sendo o seu reconhecimento como Área de Conservação Regional recomendado para garantir a sua proteção e utilização sustentável.

Palavras-chave: Área de conservação regional; Florestas de *Polylepis incarum*; Conhecimento tradicional local; Diversidade florística e faunística; Ecossistema alto andino peruano; Índices de diversidade ecológica

INTRODUCCIÓN

En el contexto global del siglo XXI, la calidad del agua subterránea se ha convertido en un tema prioritario, especialmente en regiones áridas como Ica, donde la disponibilidad de agua superficial es limitada (1). Esta dependencia crece constantemente debido al cambio climático, el aumento poblacional y la expansión agrícola sin planificación adecuada (2). En estas condiciones, los acuíferos son la principal fuente de abastecimiento humano, pero su sobreexplotación y contaminación ponen en riesgo tanto su disponibilidad como su potabilidad. El Centro Poblado Santiago, ubicado en Ica, es un ejemplo representativo de esta problemática, ya que su población depende casi exclusivamente del agua subterránea para satisfacer sus necesidades básicas (3-7).

Sin embargo, factores como el uso intensivo de fertilizantes, la mala disposición de aguas residuales y la deficiente infraestructura sanitaria han generado una infiltración de nitratos, coliformes fecales y metales pesados, deteriorando progresivamente la calidad del recurso hídrico (8-12). Estos contaminantes no solo afectan la salud pública, sino también la sostenibilidad del recurso a largo plazo. Además de las amenazas directas por contaminación, existe una falta de monitoreo sistemático del agua subterránea en la zona, lo cual limita la capacidad de respuesta ante cambios en la calidad del agua

(13, 14). Este vacío dificulta la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias preventivas eficaces. Por ello, resulta fundamental generar información técnica confiable que respalde políticas públicas orientadas a la protección de los acuíferos locales.

Dentro de este marco, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS, promueven el acceso universal a agua potable segura y la gestión sostenible de los recursos hídricos (15, 16). Para alcanzar este objetivo, es necesario articular acciones técnicas, sociales y ambientales que permitan proteger el recurso hídrico subterráneo desde múltiples dimensiones. Esto incluye no solo el control de fuentes contaminantes, sino también la educación sanitaria y la participación comunitaria (17). El agua subterránea constituye un recurso estratégico, almacenando aproximadamente el 97% del agua dulce disponible en el planeta (18, 19). Su importancia radica en su amplia disponibilidad, flujo constante y resistencia natural a la contaminación, características que la hacen preferida frente al agua superficial en contextos rurales y urbanos (20). No obstante, su vulnerabilidad aumenta cuando se ve afectada por actividades humanas o por procesos naturales relacionados con la geología local (21).

En este contexto, estudios previos han identificado factores como la agricultura intensiva, la minería informal y la urbanización desordenada

como causas principales de contaminación en zonas similares (22). En Ghana, por ejemplo, se ha observado cómo la presencia de metales pesados y contaminantes microbiológicos está vinculada a prácticas agrícolas insostenibles y sistemas sanitarios deficientes (23, 24). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de evaluar las condiciones específicas de Santiago para diseñar intervenciones adaptadas al contexto local. Aunque en el área de estudio no se han reportado niveles críticos de contaminación, ciertos parámetros como la turbidez y la presencia de coliformes termotolerantes indican posibles focos de contaminación fecal cercanos a pozos de extracción (25, 26). Estos resultados sugieren que, aunque el agua cumple con los estándares normativos, se requiere mayor vigilancia para prevenir riesgos sanitarios futuros. La percepción de la población también debe considerarse, ya que influye en el comportamiento frente al consumo y tratamiento del agua (27).

De hecho, la percepción sensorial del agua como el sabor, olor y apariencia tiene un impacto directo en la confianza de los usuarios respecto a su seguridad, incluso si los análisis técnicos muestran cumplimiento normativo (28). Por otro lado, investigaciones han demostrado que una mayor conciencia sobre los riesgos asociados al agua contaminada incrementa la adopción de medidas preventivas dentro del

hogar, como la filtración o la ebullición (29, 30). Por lo tanto, cualquier iniciativa destinada a mejorar la seguridad del agua debe integrar tanto los datos objetivos derivados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, como las percepciones y prácticas de la comunidad. Solo mediante un enfoque participativo será posible fortalecer la gobernanza del agua y garantizar su uso sostenible en el tiempo. Este trabajo busca determinar la calidad del agua subterránea y su influencia en la aptitud para el consumo humano en el Centro Poblado Santiago.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se centra en el Centro Poblado Santiago, ubicado en la región de Ica, Perú, Figura 1, una zona árida donde la población depende en gran medida del agua subterránea debido a la limitada disponibilidad de fuentes superficiales. La calidad del agua subterránea es crucial para la salud pública, ya que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos influyen directamente en su potabilidad. La investigación incluirá muestreos de agua en diversos puntos de extracción para analizar su calidad según los estándares establecidos por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Los resultados contribuirán a identificar contaminantes y riesgos para la salud, siendo fundamentales para la mejora en la gestión y suministro de agua en la comunidad.

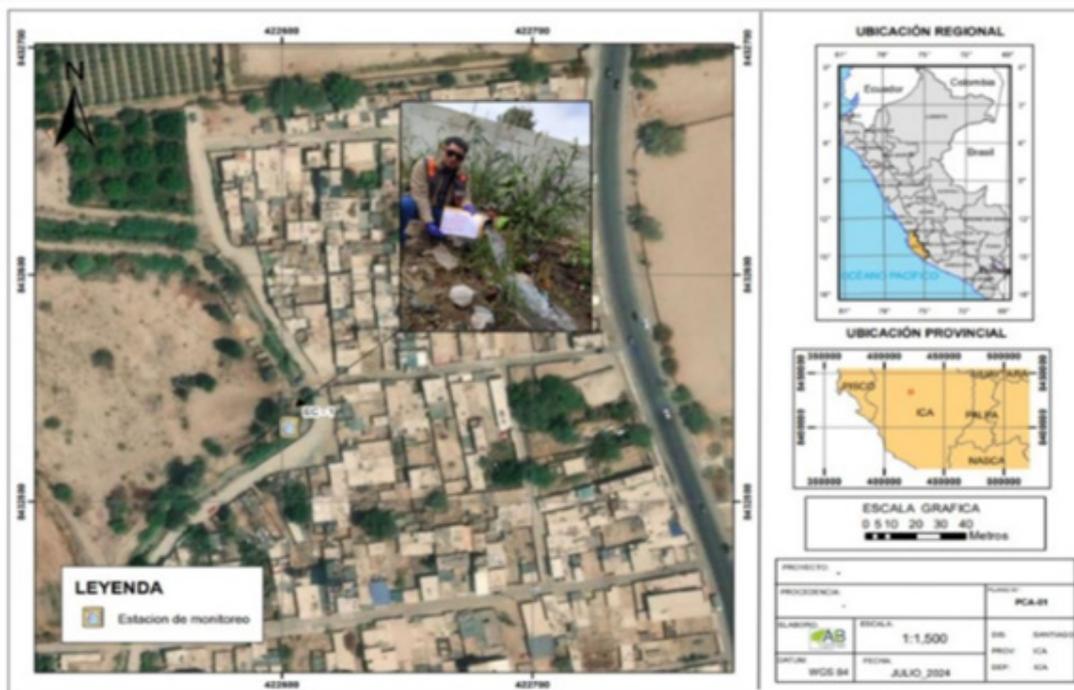


Figura 1. Ubicación del Centro Poblado Santiago, Ica.

La metodología empleada corresponde a una investigación aplicada, con enfoque observacional, prospectivo y longitudinal, dirigida a abordar un problema concreto: la evaluación de la calidad del agua subterránea para consumo humano. Se trata de un estudio descriptivo que busca caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en el Centro Poblado Santiago, sin establecer relaciones causales, sino describiendo su estado actual. El trabajo de campo se realizó in situ, recolectando datos directamente en los puntos de extracción. Esta aproximación permitió obtener información real y confiable del entorno hídrico. En consecuencia, se optó por un diseño cuasiexperimental (31, 32).

La población de estudio comprende todas las fuentes de agua subterránea empleadas para el consumo humano en el Centro Poblado Santiago, incluyendo pozos y manantiales. La muestra se seleccionó considerando criterios como la ubicación geográfica, la accesibilidad y la frecuencia de uso por parte de la población, tomando como referencia los puntos de muestreo CE-01, CE-02 y CE-03 en fechas distintas, con el fin de realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos que permitan evaluar la calidad del agua subterránea destinada al consumo humano. Además, para evaluar la percepción poblacional, se aplicó una encuesta con una muestra estratificada aleatoria de 170 habitantes,

calculada mediante la ecuación de Murray y Larry, considerando una población urbana de 14,781 personas, un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 7,5% (33).

Para el recojo de muestras de agua subterránea se aplicó la técnica de observación directa en campo, utilizando como instrumentos botellas estériles para la recolección, además de termómetro, conductímetro y turbidímetro para registrar parámetros in situ. En cuanto a la percepción de la población, se empleó la técnica de encuesta estructurada, utilizando como instrumento una ficha de recolección de datos validada, aplicada de forma presencial a los habitantes seleccionados mediante un muestreo aleatorio estratificado

La identificación del punto de monitoreo para la evaluación de la calidad del agua subterránea se llevó a cabo mediante una inspección técnica in situ realizada el 03 de julio de 2024, con el objetivo de validar geográficamente la localización precisa del sitio de muestreo. Este procedimiento permitió asegurar la representatividad y accesibilidad del punto seleccionado. La recolección de la muestra se efectuó el mismo día, garantizando condiciones adecuadas para el análisis. En la Figura 1 se presenta la ubicación georeferenciadas de los puntos de monitoreo, mientras que en la Tabla 1 se detalla la coordenada UTM bajo el sistema de referencia WGS 84 zona 18 L.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua subterránea (Coordenadas UTM, WGS 84, Zona 18L).

Puntos de Monitoreo	Coordenadas UTM (WGS 84 18 L)		Descripción
	Este	Norte	
CE-01, CE-02 y CE-03	422603	8432533	Corresponde a una ubicación próxima a la tubería de descarga del canal, situada a aproximadamente 20 metros del pozo de succión, lo que lo convierte en un sitio estratégico para la obtención de muestras representativas del recurso hídrico utilizado por la población.

Muestra obtenida en el lugar, fue recolectada directamente en el punto para el monitoreo, garantizando representatividad y fiabilidad en los resultados obtenidos, Figura 2. Esta acción se llevó a cabo cumpliendo estrictamente los protocolos

técnicos de muestreo, con el fin de preservar las condiciones originales del recurso hídrico en cuanto a sus características fisicoquímicas y microbiológicas.



Figura 2. Ilustra la ubicación precisa del lugar donde se efectuó el monitoreo del recurso hídrico.

Para la recolección de los datos se organizó: los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, y la percepción y prácticas de manejo del agua en la comunidad. Para la primera dimensión, se utilizaron métodos estadísticos descriptivos y comparativos para evaluar el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y se procesaron los datos con software especializado. Para la segunda dimensión, se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas (frecuencias y porcentajes) a los resultados de las encuestas, identificando percepciones sobre la calidad del agua y las prácticas de tratamiento. Ambos análisis se integraron para contrastar los datos técnicos con las preocupaciones sociales, lo que facilitó la identificación de áreas de mejora en la gestión del agua y en las políticas públicas.

El análisis e interpretación de los datos se realizó utilizando el test t-student para comparar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), evaluando su cumplimiento. Para la

dimensión de percepción y prácticas de manejo del agua por parte de la comunidad, se empleó el test de chi-cuadrado para analizar la relación entre las respuestas de los encuestados y las variables como la percepción de la calidad del agua y las prácticas de tratamiento en el hogar. Ambos análisis permitieron obtener conclusiones válidas y significativas para cada dimensión del estudio.

RESULTADOS

El análisis y la relación entre la calidad del agua subterránea y su uso para el consumo humano en el Centro Poblado Santiago, Ica Tabla 2, responde a la necesidad científica de evaluar si este recurso esencial cumple con los estándares exigidos para garantizar la salud pública. El proceso de monitoreo en campo implica una evaluación detallada de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, considerando parámetros como el pH, la presencia de metales pesados, y los contaminantes biológicos, especialmente coliformes termoestables. Estos

indicadores, establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y respaldados por normativas internacionales, son fundamentales

para determinar la potabilidad del agua y su inocuidad para el consumo humano.

Tabla 2. Resultados de la calidad de agua.

Parámetros	Unidad	Resultados			Estándares de Calidad de agua (ECA)
		CE-01 03-07-24	CE-01 10-07-24	CE-01 17-07-24	D.S. N°004-2017-MINAM
					Categoría 1: Poblacional y Recreacional
					SUBCATEGORIA A: AGUAS SUPERFICIALES DESTINADAS A LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE
Turbidez	UNT	14	13	15	100
Temperatura	°C	18	19	19	Δ 3
Potencial de hidrogeno	pH	7.2	7.1	7.2	5.5 -9.0
Conductividad eléctrica	μS/cm	438	436	439	1600
Oxígeno disuelto	μg/L	5.3	5.5	5.5	≥ 5
Solidos disueltos totales	μg/L	8	7	8	1000
Nitritos	μg/L	1.1	1.0	1.1	50
Nitratos	μg/L	12	11	12	50
Pb	μg/L	0.03	0.03	0.03	0.05
Zc	μg/L	2.2	2.2	2.1	5
Cu	μg/L	1.7	1.6	1.6	2
“Coliformes termotolerantes”	NMP/100 ml	103	101	105	2000

Evaluar la calidad del agua no solo permite identificar riesgos sanitarios potenciales, sino también tomar decisiones basadas en evidencia para prevenir enfermedades hídricas, como diarreas infecciosas, cólera y afecciones gastrointestinales, cuya incidencia está estrechamente vinculada al acceso a fuentes seguras de agua. Asimismo, el entorno climático y geográfico del Centro Poblado Santiago -marcado por condiciones áridas y una fuerte dependencia de las aguas subterráneas- resalta la urgencia de realizar investigaciones

orientadas al diagnóstico de la calidad de este recurso. En zonas donde los acuíferos representan la principal fuente de abastecimiento, su deterioro por contaminación o sobreexplotación puede comprometer seriamente la seguridad hídrica de la población.

Por ello, estudios como el presente son indispensables para generar información técnica que sirva de base para la formulación de políticas de gestión sostenible del agua, así como estrategias de protección de los recursos subterráneos locales,

en concordancia con el enfoque preventivo de la salud pública y el desarrollo sostenible. El monitoreo realizado en campo permitió identificar las características del agua disponible, contrastando los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), según el D.S. N°004-2017-MINAM, categoría 1: Poblacional y Recreacional, subcategoría A. Dichos estándares definen límites permisibles para parámetros como turbidez, pH, concentración de metales pesados, nitratos, nitritos y presencia de coliformes termotolerantes. Estos indicadores permiten determinar el grado de potabilidad del recurso y su aptitud para el consumo humano.

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua para consumo humano en el Centro Poblado Santiago, Ica, responde a la necesidad de garantizar que este recurso cumpla con los estándares establecidos por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Dichos parámetros, entre los que destacan la turbidez, el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales, los metales pesados (como plomo, zinc y cobre), así como la presencia de coliformes termotolerantes, permiten determinar la aptitud del agua para el consumo humano. El análisis de los puntos de monitoreo CE-01, CW-02 Y CE-003 realizado en tres fechas distintas, evidenció niveles de turbidez dentro del rango permitido por la norma (valores de 14, 13 y 15 UNT), lo cual sugiere una calidad aceptable del recurso. No

obstante, debido a la importancia sanitaria de este parámetro, se procedió a aplicar una prueba estadística t-Student para evaluar si los valores observados difieren significativamente del límite máximo normativo (100 UNT).

Los resultados del análisis estadístico confirmaron que existe una diferencia significativa entre la media observada de turbidez (14.00 UNT) y el valor normativo, dado que el valor t experimental (-148.9564) fue menor al t teórico (-2.9200) con un p-valor de 0.00002, lo cual permitió rechazar la hipótesis nula. Esta evidencia estadística respalda la hipótesis alternativa, según la cual la turbidez influye en la calidad del agua para consumo humano, aun cuando se mantenga por debajo del límite permitido. Este hallazgo resalta la importancia de monitorear de forma constante dicho parámetro, ya que afecta directamente la percepción sensorial y la efectividad de los procesos de desinfección. En este contexto, la investigación no solo contribuye a validar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sino que también refuerza la necesidad de establecer medidas preventivas para asegurar la inocuidad del agua que llega a la población.

El análisis de la percepción de los habitantes del Centro Poblado Santiago sobre la calidad del agua subterránea, revela una apreciación predominantemente positiva en cuanto a los atributos sensoriales del recurso hídrico, como sabor (80% entre "muy bueno" y "bueno"), olor (80%), claridad (81%) y apariencia (76%). Estos

resultados sugieren que, a nivel organoléptico, el agua es considerada apta para el consumo, lo cual influye directamente en la sensación de seguridad del consumidor: el 81% de los encuestados reporta sentirse seguro o muy seguro al consumir el agua que llega a su hogar. Sin embargo, esta percepción favorable no garantiza por sí sola la inocuidad del agua, lo que subraya la importancia de complementar los estudios de percepción con análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

La confianza en el recurso también se refleja en la evaluación positiva de la efectividad de los tratamientos caseros (77%) y en la percepción de información sobre riesgos sanitarios (77%), aunque aún un 19% se considera solo regularmente informado, lo que representa una oportunidad para fortalecer estrategias de educación sanitaria. Es relevante destacar que, aunque la mayoría manifiesta satisfacción con el suministro en términos de cantidad y disponibilidad (80%), un 20% aún percibe limitaciones, lo cual podría estar asociado a factores estacionales, presión del sistema o infraestructura local. Del mismo modo, un 19% a 21% califica como “regular” aspectos clave como olor, apariencia, tratamiento y claridad del agua, indicando una minoría con dudas o experiencias no satisfactorias, que podrían condicionar prácticas como hervir el agua o adquirirla embotellada.

En conjunto, los resultados permiten establecer una correlación positiva entre la calidad

percibida y la aceptación del agua subterránea como fuente segura para el consumo familiar. Esta información resulta crítica para los gestores locales de agua, ya que la percepción social influye en el comportamiento de consumo y puede potenciar o limitar las intervenciones en salud pública. Incorporar la voz de los usuarios en la evaluación integral de la calidad del agua no solo mejora la efectividad de las acciones, sino que promueve una gobernanza del agua más participativa y sostenible.

Discusión

El análisis de los resultados obtenidos en esta investigación revela que la calidad del agua subterránea en el Centro Poblado Santiago, Ica, Perú, cumple en general con los estándares establecidos por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. No obstante, ciertos parámetros, aunque dentro de los límites permitidos, según indican Hussain et al. (1) posibles riesgos sanitarios futuros si no se implementan estrategias preventivas. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones similares realizadas en contextos áridos, donde la vulnerabilidad de los acuíferos frente a contaminantes químicos y microbiológicos ha sido ampliamente documentada (7, 8).

En cuanto a la turbidez, los valores registrados oscilaron entre 13 y 15 UNT, muy por debajo del umbral máximo de 100 UNT establecido por la norma. Sin embargo, Motta (34) y Aurora

y Mishra (35), informaron que este parámetro puede influir en la percepción sensorial del agua, afectando la confianza de los usuarios respecto a su potabilidad (36). Este fenómeno también ha sido observado en otros estudios, donde Bain et al (37), reportan que pequeñas variaciones en la turbidez pueden generar rechazo al consumo del agua, especialmente en comunidades rurales con baja conciencia sobre procesos de filtración natural. En ese sentido, es fundamental complementar los análisis técnicos con estrategias de sensibilización comunitaria para mejorar la comprensión de los criterios de calidad del agua.

Respecto a los microorganismos termotolerantes, los niveles encontrados (entre 101 y 105 NMP/100 ml) están por debajo del límite permisible de 2000 NMP/100 ml. A pesar de ello, de acuerdo con Abanyie et al. (7), la presencia de coliformes termotolerantes indica una posible contaminación fecal de origen cercano a las fuentes de extracción. Esta situación refleja lo encontrado en otras regiones, como Ghana, donde pozos mal construidos y sistemas sanitarios inadecuados han contribuido significativamente a la contaminación bacteriana del agua subterránea (38). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de mejorar la infraestructura sanitaria local y promover prácticas seguras de manejo del recurso hídrico (39, 40).

Además, la correlación estadística demostrada mediante la prueba de Chi cuadrado entre la calidad del agua y la percepción de seguridad por parte de los habitantes resalta la importancia de integrar dimensiones técnicas y sociales en la gestión del agua. Investigaciones previas de Li et al. (41), Cassivi et al. (42), Obradović y Obradović (43), han señalado que cuando los usuarios perciben visualmente el agua limpia y sin olor, suelen asumir que es segura, independientemente de los análisis microbiológicos. Por tanto, es necesario desarrollar campañas educativas que vinculen la percepción sensorial con la realidad técnica, promoviendo el tratamiento doméstico del agua como medida preventiva efectiva. Asimismo, los resultados coinciden con lo reportado en estudios sobre la influencia de factores geogénicos y actividades humanas en la calidad del agua subterránea (11, 12).

Por lo que, autores como El Alfy et al. (9), Murtaza y Usman (10) en zonas con agricultura intensiva o expansión urbana descontrolada, la infiltración de nitratos y metales pesados representa un riesgo latente para la salud pública. Aunque en este estudio los niveles de nitratos se mantuvieron bajo control (12 µg/L), es crucial monitorearlos regularmente, ya que su acumulación progresiva puede derivar en problemas de salud, especialmente en niños y

personas mayores (13). Por otro lado, el hecho de que más del 80% de los encuestados consideren segura el agua que consumen contrasta con la evidencia técnica que sugiere la existencia de contaminantes emergentes y fluctuaciones en la calidad del recurso (43).

Esto pone de relieve la necesidad de una comunicación efectiva entre los responsables del suministro de agua y la población, garantizando transparencia y acceso a información actualizada sobre la calidad del recurso hídrico (40). En conjunto, estos hallazgos respaldan lo descrito por Li y Wu (14) y Adimalla (15), donde la evaluación de la calidad del agua debe ir más allá del cumplimiento técnico de los estándares normativos, incorporando aspectos socioculturales, ambientales y de gobernanza local. Solo mediante un enfoque integral será posible garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua potable en comunidades vulnerables como el Centro Poblado Santiago (16).

CONCLUSIONES

La evaluación de la calidad del agua subterránea en el Centro Poblado Santiago, Ica, indica que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados cumplen en general con los estándares establecidos por el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM. Sin embargo, ciertos indicadores sugieren la presencia de contaminantes potenciales que, aunque no

exceden los límites normativos, representan riesgos sanitarios futuros si no se implementan estrategias preventivas. La detección de coliformes termotolerantes refleja una posible contaminación fecal, lo cual demanda una revisión de las condiciones sanitarias en las inmediaciones de los pozos de extracción.

La percepción de la población sobre la calidad del agua es mayoritariamente positiva, basada principalmente en atributos sensoriales como sabor, olor y apariencia. No obstante, esta visión subjetiva no siempre corresponde a los resultados técnicos obtenidos, lo que resalta la necesidad de promover campañas educativas que fortalezcan la comprensión comunitaria sobre los riesgos asociados al consumo de agua subterránea. Estas iniciativas deben ir acompañadas del fortalecimiento de prácticas de tratamiento doméstico accesibles y eficaces, especialmente en contextos rurales con infraestructura limitada.

Finalmente, este estudio contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6, enfocado en garantizar acceso equitativo a agua potable segura y mejorar la gestión sostenible de los recursos hídricos. Se recomienda la implementación de un sistema permanente de monitoreo de la calidad del agua subterránea, así como la coordinación entre autoridades locales, instituciones educativas y la comunidad para diseñar e implementar políticas públicas integrales. Solo mediante un enfoque

participativo será posible asegurar la disponibilidad y seguridad del recurso hídrico en el tiempo.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses por la publicación de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hussain S, Wang Y, Awais M, Sajjad M, Ejaz N, Javed U, et al. Integrated assessment of groundwater quality dynamics and land use/land cover changes in rapidly urbanizing semi-arid region. **Environ Res** . 2024; 260:119622. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119622>.
- Uddin M, Imran M, Sajib A, Hasan M, Diganta T, Dabrowski T, et al. Assessment of human health risk from potentially toxic elements and predicting groundwater contamination using machine learning approaches. **J Contam Hydrol**. 2024;261:104307. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104307>.
- Zampone G, Nicolò G, Sannino G, De Iorio S. Gender diversity and SDG disclosure: the mediating role of the sustainability committee. **J Appl Account Res**. 2024;25(1):171–93. <https://doi.org/10.1108/JAAR-06-2022-0151>.
- Salmoral G, Carbó A, Zegarra E, Knox J, Rey D. Reconciling irrigation demands for agricultural expansion with environmental sustainability – A preliminary assessment for the Ica Valley, Peru. **J Clean Prod**. 2020; 276:123544. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123544>.
- World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/352532/9789240045064-eng.pdf>
- Moreno A. Del control institucional del agua a la gobernanza, vía gestión comunitaria del agua. **De Prácticas y Discursos: Cuadernos de Ciencias Sociales**. 2020;9(13):4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7415887>
- Abanyie S, Apea O, Abagale S, Amuah E, Sunkari E. Sources and factors influencing groundwater quality and associated health implications: A review. **Emerg Contam** .2023;9(2):100207. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100207>.
- Kou X, Ding J, Li Y, Li Q, Mao L, Xu C, et al. Tracing nitrate sources in the groundwater of an intensive agricultural region. **Agric Water Manage**. 2021; 250:106826. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106826>.
- El Alfy M, Abdalla F, Moubark K, Alharbi T. Hydrochemical equilibrium and statistical approaches as effective tools for identifying groundwater evolution and pollution sources in arid areas. **Geosci J**. 2019;23(2):299–314. <https://doi.org/10.1007/s12303-018-0039-7>.
- Murtaza G, Usman M. Assessment of various heavy metals level in groundwater and soil at tannery manufacturing areas of three mega cities (Sialkot, Lahore and Karachi) of Pakistan. **Desalin Water Treat**. 2022; 266:121–30. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28640>.
- Rao N, Sunitha B, Das R, Kumar B. Monitoring the causes of pollution using groundwater quality and chemistry before and after the monsoon. **Phys Chem Earth**. 2022; 128:103228. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103228>.
- Li P, Karunanidhi D, Subramani T, Srinivasamoorthy K. Sources and consequences of groundwater contamination. **Arch Environ Contam Toxicol**. 2021; 80:1–10. <https://doi.org/10.1007/s00244-020-00805-z>.
- Li P. To make the water safer. **Expo Health**. 2020;12(3):337–42. <https://doi.org/10.1007/s12403-020-00370-9>.
- Li P, Wu J. Sustainable living with risks: meeting the challenges. **Hum Ecol Risk Assess**. 2019;25(1–2):1–10. <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1584030>.

15. Adimalla N. Groundwater quality for drinking and irrigation purposes and potential health risks assessment: a case study from semi-arid region of South India. **Expo Health**. 2019;11(2):109–23. <https://doi.org/10.1007/s12403-018-0288-8>.
16. Cousins I, Johansson J, Salter M, Sha B, Scheringer M. Outside the safe operating space of a new planetary boundary for per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). **Environ Sci Technol**. 2022;56(16):11172–9. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02765>.
17. Zhang Y, Xu B, Guo Z, Han J, Li H, Jin L, et al. Human health risk assessment of groundwater arsenic contamination in Jinghui irrigation district, China. **J Environ Manage**. 2019; 237:163–9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.067>.
18. Scanlon B, Fakhreddine S, Rateb A, de Graaf I, Famiglietti J, Gleeson T, et al. Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. **Nat Rev Earth Environ**. 2023;4(2):87–101. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00378-6>.
19. Megdicke-kharrat F, Rejeb Hichem H, Ragala R, Moussa M. Les paysages construits à travers les galeries d'eau sur les deux rives de la Méditerranée et au Moyen Orient. **Cah Geogr Ouest**. 2021;9(1):6–25. <https://asjp.cerist.dz/en/article/262631>
20. Silva M, Gonçalves M, Lopes W, Lima T, Costa T, Paris M, et al. Assessment of groundwater quality in a Brazilian semiarid basin using an integration of GIS, water quality index and multivariate statistical techniques. **J Hydrol**. 2021; 598:126346. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126346>.
21. Udeshani A, Dissanayake K, Gunatilake S, Chandrajith R. Assessment of groundwater quality using water quality index (WQI): A case study of a hard rock terrain in Sri Lanka. **Groundw Sustain Dev**. 2020;11:100421. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100421>.
22. Ahmed A, Alshamsi D, Arman H, Abdulaziz A. Identifying the factors controlling surface water and groundwater chemical characteristics and suitability in the East Nile Delta Region, Egypt. **Appl Water Sci**. 2025;15(4):73. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02412-6>.
23. Huang G, Song J, Han D, Liu R, Liu C, Hou Q. Assessing natural background levels of geogenic contaminants in groundwater of an urbanized delta through removal of groundwaters impacted by anthropogenic inputs: New insights into driving factors. **Sci Total Environ**. 2023; 857:159527. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159527>.
24. Zainudin A, Isa N, Husin N, Looi L, Aris A, Sefie A, et al. Groundwater potability assessment through integration of pollution index of groundwater (PIG) and groundwater quality index (GWQI) in Linggi River Basin, Negeri Sembilan, Malaysia. **Groundw Sustain Dev**. 2024; 26:101225. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101225>.
25. Asomaku S. Quality assessment of groundwater sourced from nearby abandoned landfills from Industrial City in Nigeria: Water pollution indices approach. **HydroResearch**. 2023; 6:130–7. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2023.03.002>.
26. Jenifer M, Jha M, Khatun A. Assessing multi-criteria decision analysis models for predicting groundwater quality in a river basin of South India. **Sustainability**. 2021;13(12):6719. <https://doi.org/10.3390/su13126719>.
27. Abu M, Egbueri J, Agbasi J. Kriging-interpolated mapping and predictive modeling of groundwater F⁻ and NO₃⁻ contamination with chemometric and health risk assessments in Ghana's Birimian Province. **Environ Geochem Health**. 2025;47(5):1–31. <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02453-5>.
28. Kada H, Demdoum A, Baali F, Aouati H, Eddine H. Heavy metal contamination and exposure risk assessment via drinking groundwater in Ain Azel territory, north-eastern Algeria. **Sustain Water Resour Manag**. 2022;8(5):163. <https://doi.org/10.1007/s40899-022-00748-4>.
29. Sellami S, Zeghouan O, Dhahri F, Mechi L, Moussaoui Y, Kebabi B. Assessment of heavy metal pollution in urban and peri-urban soil of Setif city (High Plains, eastern Algeria). **Environ Monit Assess**. 2022;194(2):126. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09781-4>.

30. Ha K, Lee E, An H, Kim S, Park C, Kim G, et al. Evaluation of seasonal groundwater quality changes associated with groundwater pumping and level fluctuations in an agricultural area, Korea. **Water**. 2021;13(1):51. <https://doi.org/10.3390/w13010051>.
31. Rubio D, Rivera E, Murillo G, Gómez G, Ramírez J. Sugerencias para escribir análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones en tesis y trabajos de grado. **CITAS: Ciencia, innovación, tecnología, ambiente y sociedad**. 2021;7(1):1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8663067>
32. Holgado J, de la Vega A. Ruta de Investigación Mixta. **Qellqay**. 2024;9(9):9. <https://revistas.uandina.edu.pe/index.php/qellkay/article/download/983/447>
33. Guerrero G, Guerrero C. Metodología de la investigación. México: Grupo Editorial Patria; 2020. https://indaga.ual.es/discovery/fulldisplay/alma991001879590104991/34CUBA_UAL:VU1
34. Motta G. Comparación de los niveles de ruido, normativa y gestión de ruido ambiental en Lima y Callao respecto a otras ciudades de Latinoamérica. **Rev Kawsaypacha**. 2020;(5):107–42. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202001.004>.
35. Arora N, Mishra I. United Nations Sustainable Development Goals 2030 and environmental sustainability: race against time. **Environ Sustain**. 2019;2(4):339–42. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00092-y>.
36. Fernández-Herrera Y, Muñoz-Ushñahua A, Garate-Quispe J. Evaluación de la calidad del agua de la quebrada Chonta mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos, Tambopata, Amazonía peruana. **Rev Biodivers Amazónica**. 2022;1(2): e197. <https://doi.org/10.18567/rba.v1.n2.e197>.
37. Bain R, Johnston R, Khan S, Hancioglu A, Slaymaker T. Monitoring drinking water quality in nationally representative household surveys in low-and middle-income countries: cross-sectional analysis of 27 multiple indicator cluster surveys 2014–2020. **Environ Health Perspect**. 2021;129(9):097010. <https://doi.org/10.1289/EHP8459>.
38. Moretti-Villegas L, Valiente-Saldaña Y. Contaminación ambiental y sus efectos en la salud pública. **Rev Arbitrada Interdiscip Koinonía**. 2023; 8:257–68. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i1.2784>.
39. Wagner J, Pramling I. WASH from the START: water, sanitation and hygiene education in preschool. **Int J Early Childhood**. 2019; 51:5–21. <https://doi.org/10.1007/s13158-019-00236-5>.
40. Haque S, Freeman M. The applications of implementation science in water, sanitation, and hygiene (WASH) research and practice. **Environ Health Perspect**. 2021;129(6):065002. <https://doi.org/10.1289/EHP7762>.
41. Li Z, Yu X, Yu F, Huang X. Occurrence, sources and fate of pharmaceuticals and personal care products and artificial sweeteners in groundwater. **Environ Sci Pollut Res**. 2021; 28:20903–20. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12721-3>.
42. Cassivi A, Covey A, Rodriguez MJ, Guilherme S. Domestic water security in the Arctic: A scoping review. **Int J Hyg Environ Health**. 2023; 247:114060. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114060>.
43. Obradović S, Obradović D. Importance of Water Supply System for Public Health. **Eur J Sustain Dev Res**. 2023;7(1):89–99. <https://doi.org/10.21601/ejsdr/13281>.