

Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de pozos para consumo humano de la zona periférica del distrito de Cabanillas, San Román - Puno 2025

Rodrigo Tajiri Escobedo Charres¹, Mary Miluska Mamani Loza²

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

El agua es una fuente de riesgo físico, químico y biológico para la salud humana, lo que hace esencial verificar su calidad antes del consumo. El objetivo de este estudio fue evaluar la concentración de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en el agua de pozos para consumo humano en la periferia del distrito de Cabanillas en 2025. Se recolectaron muestras de ocho pozos ubicados en cuatro zonas (Norte, Sur, Este y Oeste), siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos. Los análisis se realizaron en los laboratorios monitoreo ambiental y saneamiento de la Universidad Peruana Unión, aplicando ANOVA ($p < 0,05$) y prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los resultados indicaron que los parámetros físicos (temperatura 16.67°C, turbidez 3.29 NTU, conductividad 832.38 $\mu\text{S/cm}$) y químicos (pH 7.69, sulfatos 51.39 mg/L) se encuentran dentro de los límites permitidos por el DS N°031-2010-SA, excepto por la dureza total (764.68 mg CaCO_3/L) y los nitratos (51.93 mg NO_3/L), que superan dichos límites. En cuanto a los parámetros bacteriológicos, los coliformes totales (178.75 NMP/100 ml) exceden el valor máximo permitido de ≤ 1.8 NMP/100 ml. Concluimos que el agua de los pozos presenta riesgos potenciales para el consumo humano debido a su dureza, alta concentración de nitratos y coliformes.

Palabras clave: Agua subterránea, Agua potable, bacteriológico, fisicoquímico, parámetro

Abstract

Water poses a physical, chemical, and biological risk to human health, making it essential to verify its quality before consumption. The aim of this study was to evaluate the concentration of physicochemical and bacteriological parameters in well water intended for human consumption in the outskirts of the Cabanillas district in 2025. Samples were collected from eight wells located in four zones (North, South, East, and West), following the National Protocol for Water Resources Quality Monitoring. Analyses were conducted in the environmental monitoring and sanitation laboratories of the Peruvian Union University, applying ANOVA ($p < 0.05$) and Tukey's test ($p < 0.05$). Results indicated that physical parameters (temperature 16.67°C, turbidity 3.29 NTU, conductivity 832.38 $\mu\text{S/cm}$) and chemical parameters (pH 7.69, sulfates 51.39 mg/L) fall within the permissible limits set by DS N°031-2010-SA, except for total hardness (764.68 mg CaCO_3/L) and nitrates (51.93 mg NO_3/L), which exceed these limits. Regarding bacteriological parameters, total coliforms (178.75 MPN/100 ml) exceed the maximum allowable value of ≤ 1.8 MPN/100 ml. We conclude that the well water poses potential risks for human consumption due to its hardness, high nitrate concentration, and coliform presence.

Keywords: Groundwater, Drinking water, Bacteriological, Physicochemical, Parameter

1. Introducción

La calidad del agua es esencial para la salud y el desarrollo sostenible de las comunidades, especialmente en áreas donde los recursos hídricos subterráneos representan la principal fuente de abastecimiento para consumo humano (Villena, 2018). La evaluación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en el agua permite determinar su aptitud para el consumo, así como identificar y mitigar riesgos potenciales asociados con la contaminación (Valenzuela & Yucra, 2022). En el caso de muchas regiones en Perú, y particularmente en el distrito de Cabanillas, Puno, los estudios sobre la calidad del agua subterránea en zonas periféricas son limitados, lo que impide tomar decisiones informadas para proteger la salud pública (Anduro, 2017).

La presente investigación se enfoca en analizar los parámetros fisicoquímicos (como pH, turbidez) y bacteriológicos (coliformes totales) en pozos de agua para consumo humano en la zona periférica de Desaguadero. Estos estudios son esenciales, ya que varios trabajos recientes han demostrado que la exposición a agua contaminada puede incrementar el riesgo de enfermedades renales y otros padecimientos en los habitantes (Romero, 2012; Rojas, 2018). A nivel local, se ha identificado que la contaminación del agua en las áreas rurales representa un problema de salud pública, especialmente por la posible presencia de patógenos bacterianos y sustancias químicas en el agua de los pozos (Pancca, 2021).

Estudios previos en la región de Puno muestran que los niveles de coliformes y otros contaminantes químicos frecuentemente superan los límites permitidos por la normativa peruana (Tacuri, 2019). Por ejemplo, en una evaluación realizada en el Complejo Industrial Taparachi en Juliaca, los niveles de dureza y arsénico excedían los máximos permitidos, lo que hacía que el agua subterránea de esa zona no fuera apta para consumo humano (Valenzuela & Yucra, 2022). La presencia de coliformes totales en diversas fuentes de agua también ha sido reportada en estudios como el de Huallpara et al. (2017), indicando altos riesgos de contaminación microbiológica en las aguas subterráneas.

La presente investigación busca aportar datos que contribuyan al conocimiento sobre la calidad del agua subterránea y sus riesgos para el consumo humano. A diferencia de investigaciones anteriores, esta se enfoca en comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa peruana, específicamente el D.S. N° 031-2010-SA de DIGESA. La hipótesis de este estudio sugiere que los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de pozos en la zona periférica de Cabanillas no cumplen con los estándares de calidad, lo cual representa un riesgo para la salud de la población. Se utiliza un diseño no experimental de tipo descriptivo, con un enfoque cuantitativo, y el análisis estadístico se llevará a cabo mediante pruebas de normalidad, ANOVA y correlación de Pearson, para identificar la significancia de las variables (Di Renzo, 2020).

Este estudio tiene como objetivo general evaluar la concentración de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de pozos para consumo humano en Cabanillas. Entre los objetivos específicos se incluyen: (1) determinar la concentración de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en el agua de los pozos, (2) evaluar la presencia de coliformes totales y (3) comparar los resultados con los límites establecidos por la normativa peruana para asegurar el consumo seguro del agua (Ministerio del Ambiente, 2017). A través de estos objetivos, se espera obtener información relevante que contribuya a la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región y a la prevención de enfermedades asociadas con la calidad del agua.

2. Materiales y Métodos

2.1 Ubicación geográfica del estudio

Zona de estudio

El estudio se realizó en el Distrito de Cabanillas, Provincia de San Román, Región de Puno; tiene una superficie territorial de 1,267.06 km², donde habita una población que sobrepasa los 5 180 habitantes; es decir que, territorialmente, el distrito de Cabanillas, ocupa más del 55% de la superficie provincial. La capital del distrito es el pueblo de Deustua que se encuentra sobre los 3885 m.s.n.m. y entre las coordenadas: 15°38'14" de latitud sur y 70°20'39" de longitud oeste; dicha capital está ubicado a orillas del río Cabanillas y en las faldas del imponente cerro Kenakuturi, que es considerado como su apu tutelar. El distrito se encuentra ubicado dentro de la unidad geográfica de Sierra y dentro de ella en la sub unidad geográfica del Altiplano. La sub unidad geográfica Altiplano, región Suni o Jalca, se encuentra en una altitud que va desde 3,500 a 4,100 m.s.n.m.; presenta una topografía relativamente plana o medianamente accidentada; la temperatura promedio anual oscila desde 0.06°C hasta 19°C, con una precipitación promedio anual de 845 mm, siendo favorable principalmente para la actividad pecuaria. En los llanos y pampas las heladas se presentan con mayor intensidad.



Fuente: Google Earth

2.2 Tamaño de muestra

2.2.1 Población

La población estaba conformada por aguas subterráneas (100 pozos artesanales) de cuatro zonas periféricas del distrito de Cabanillas.

2.2.2 Muestra

Conformada por 08 puntos de muestreo (08 pozos artesanales) en cuatro zonas periféricas de Cabanillas, para el análisis de parámetros físico químicos y bacteriológicos, la técnica de muestreo fue no probabilístico por conveniencia, que permite seleccionar aquellos casos accesibles y próximas por

consideración del investigador (Otzen & Manterola, 2017). El tipo de muestras a utilizar fue instantáneo e integrado de tipo transversal, en un solo momento.

2.2.3 Tamaño de Muestra

Las muestras fueron obtenidas por muestreo no probabilístico, bajo el criterio de elección dirigida en ocho pozos de forma puntual.

2.3 Métodos y técnicas

Enfoque : Cuantitativo

Diseño : Descriptivo

Tipo : No Experimental

2.3.1 Ubicación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se ubicaron en los cuatro puntos cardinales de la zona periférica de Cabanillas, seleccionando también la ubicación de la fuente (pozo artesanal) destinada al consumo humano y determinando la cantidad de muestras a recolectar. Este proceso tuvo en cuenta la facilidad de acceso y transporte hacia los puntos de muestreo, así como el uso actual que la población hace de estos recursos. Además, se registró la información de los puntos de muestreo mediante coordenadas UTM, utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS) para asegurar una ubicación precisa. Los puntos de muestreo están representados en la Figura 02 y en la Tabla 03.



Figura 02: Ubicación de puntos de muestreo.

Fuente: Google Earth

Los puntos de muestreo (Tabla 03), fueron georreferenciados en coordenadas UTM en cuatro zonas periféricas del distrito de Cabanillas que comprende los siguientes barrios:

- Zona norte: barrios Los Ángeles y Deustua
- Zona oeste: barrio Mariscal y Ramon Castilla
- Zona sur: barrios la Quinta y Mañazo

- Zona este: barrios La Alborada y Huáscar

Tabla 01 Ubicación de puntos en el distrito de Cabanillas

Zona	Puntos de muestreo	Coordenadas geográficas	
		x	y
Norte	P-1	354,889.00	8,270,099.00
	P-2	354,751.00	8,269,950.00
Oeste	P-3	354,912.00	8,269,712.00
	P-4	355,106.00	8,269,786.00
Sur	P-5	355,562.00	8,270,057.00
	P-6	355,730.00	8,270,326.00
	P-7	355,511.00	8,270,708.00
Este	P-8	355,261.00	8,270,416.00

Los análisis fisicoquímicos del agua se llevaron a cabo en el laboratorio Saneamiento Ambiental, mientras que el análisis de los parámetros bacteriológicos se realizó en el laboratorio Monitoreo Ambiental de la Universidad Peruana Unión (UPeU) en Juliaca. Se examinaron los siguientes parámetros:

Tabla 02: Parámetros seleccionados para análisis de calidad de agua de pozo para consumo humano

PARAMETROS	Fisico	Tipo de parámetro	
		Químico	Bacteriológico
Temperatura	x		
Turbidez	x		
Conductividad eléctrica	x		
Ph		x	
Dureza total		x	
Sulfatos		x	
Nitratos		x	
Coliformes totales			x

2.2.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR DATOS

Se llevó a cabo de acuerdo con el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que se establece en las disposiciones complementarias finales del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

2.2.3 MÉTODOS DE LABORATORIO

Se utilizaron las metodologías de la (NORMA TÉCNICA PERUANA, 2012), Manual de Análisis de Agua HACH (2000) para los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos.

2.2.4 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Se determinó la normalidad y homogeneidad del resultado de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de pozo (datos) mediante el método de ajuste de Shapiro-Wilks. Los datos y las variables que no siguieron una distribución normal se compararon mediante la prueba de Kruskal-Wallis. Los resultados que presentaron distribución normal fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA, $p < 0,05$), y las diferencias entre las medias fueron evaluadas por la prueba de Tukey ($p < 0,05$). La relación de puntos de muestreo con las variables fisicoquímicas y bacteriológicas del agua de pozo se evaluaron mediante la significancia de los coeficientes de correlación lineal de Pearson (r), a un nivel de significancia del 5%. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat versión 2020 (Di Renzo et al., 2020). Todos los datos se describieron como medias $\pm$ error estándar de la media.

3. Resultados y Discusión

3.1. Determinación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos de las aguas de pozos para consumo humano.

3.1.1 Parámetros físicos

Tabla 03: Valores de temperatura de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8)

PARAMETRO TEMPERATURA °C				
MUESTRA	VALORES °C	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	16.1	16.5	Norte	16.15
POZO 2	16.2	16.5		
POZO 3	16.9	16.5	Oeste	16.85
POZO 4	16.8	16.5		
POZO 5	16.6	16.5	Sur	16.71
POZO 6	16.82	16.5		
POZO 7	16.9	16.5	Este	16.95
POZO 8	17	16.5		
promedio	16.67			
Min	16.1			
Max	17			
CV	2.03			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 03 nos muestra los resultados presentando como temperatura mínima 16.10 °C y máxima de 17 °C con un promedio de 16.67 °C resaltando que los datos sobre la temperatura son de gran importancia debido a que con la medición de la temperatura se puede identificar fuentes de agua como los pozos profundos a la vez la temperatura del agua de pozo influye en su sabor. Comparando entre las cuatro zonas de muestreo, la zona norte muestra una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a las otras zonas según la prueba Tukey.

Los resultados de esta investigación son menores a lo encontrado por Molina (2018) en su trabajo de investigación denominado propuesta de uso del agua subterránea para el consumo humano mediante la identificación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cuyos resultados de Análisis químico y fisicoquímico del agua subterránea fueron como temperatura mínima de 21.60°C en el periodo de otoño para la muestra y una temperatura máxima de 24 °C en el periodo de verano. Jiménez & Colmenares (2009) afirman que las aguas subterráneas gozan por lo general, de temperatura constante mientras que las aguas de circulación superficial no poseen nunca debido a que están sometidas a evaporaciones, intercambios térmicos con el aire exterior y el terreno de superficie por el que discurre, radiación solar.

Por otro lado, Sandoval (2021) reportó una temperatura promedio de 17.82 °C, en su trabajo de investigación titulado análisis de la calidad de agua para consumo humano estos resultados fueron corroborados por Rodríguez (2009) quien indica que los datos sobre la temperatura son importantes para el cálculo de la solubilidad del oxígeno y del equilibrio dióxido de carbono-bicarbonato-carbonato indicando que con la sola medición de la temperatura se puede identificar fuentes de agua como los pozos profundos, siendo estos resultados similares al presente estudio. Hernández (2018) indica que la temperatura del agua potable influye en su sabor, reportando valores de 18 a 25 °C los cuales se encuentran dentro de los que son intervalos más o menos estables para considerar los otros análisis realizados, exceptuando la conductividad, que sí varía de acuerdo a esta característica, en un estudio titulado análisis fisicoquímico y microbiológico de agua purificada resaltan la importancia de medir la temperatura del agua debido a que es uno de los parámetros más importantes de la calidad de agua la temperatura afecta la química del agua y las funciones de los organismos, por último Calsin (2016) reporta valores de 14.49 ± 0.38 °C en pozos artesanales y en pozos tubulares 14.52 ± 0.40 °C, siendo estos valores menores a los valores del presente estudio.

Tabla 04: Valores de turbidez de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8).

PARAMETRO TURBIDEZ UNT				
MUESTRA	VALORES UNT	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	1.01	5	Norte	1.02
POZO 2	1.03	5		
POZO 3	0.9	5	Oeste	0.85
POZO 4	0.8	5		
POZO 5	19.41	5	Sur	10.31
POZO 6	1.2	5		
POZO 7	0.85	5	Este	0.98
POZO 8	1.1	5		
Promedio	3.29			
Min	0.8			
Max	19.41			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 04 se visualiza los valores de turbidez, el valor máximo es 19.14 UNT mg/L y mínimo de 0.8 UNT mg/L con un promedio de 3.29 UNT mg/L. Comparando entre las cuatro zonas de muestreo, la zona sur muestra una diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a las otras zonas según la prueba de Tukey. Comparando los resultados de esta investigación con Hernández (2018) en su investigación encontraron valores de cero UNT en cuanto al parámetro turbidez en todas sus muestras analizadas, tanto de fuentes como de pipas; resaltando que valores elevados en este parámetro evitan la desinfección adecuada del agua, provocando la proliferación de microorganismos, respaldado por (Marco, 2004).

Por otro lado Simanca (2010) al evaluar la calidad física, química y bacteriológica del agua envasada en el municipio de Montería para el parámetro de turbiedad en agua envasada reporta valores de (0.0 y 1.4 UNT), sin embargo Sandoval (2021) encontró para el parámetro turbidez 1.81 UNT, mientras que el menor valor fue para su Pozo 4 con 1.05, el promedio para los cinco pozos fue de 1.34 UNT mg/l, con una desviación estándar de 0.30 UNT, resultados similares a la presente investigación, por otra parte Calsin (2016) reportó un valor de turbidez de agua 2.15 ± 0.39 UNT en pozos artesanales y en tubulares 3.09 ± 0.42 UNT.

Tabla 05: Valores de conductividad eléctrica de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8).

PARAMETRO CONDUCTIVIDAD ELECTRICA uS/cm				
MUESTRA	VALORES uS/cm	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	789	1500	Norte	915.50
POZO 2	1042	1500		
POZO 3	537	1500	Oeste	562.50
POZO 4	588	1500		
POZO 5	919	1500	Sur	1416.50
POZO 6	1914	1500		
POZO 7	496	1500	Este	435.00
POZO 8	374	1500		
promedio	832.38			
Min	374			
Max	1914			
CV	59.09			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 05 se observan valores de conductividad eléctrica teniendo un valor máximo de 1914 $\mu\text{S/cm}$ y un mínimo de 374 $\mu\text{S/cm}$, el promedio de esta investigación es de 832.38 $\mu\text{S/cm}$. Comparando entre las cuatro zonas de muestreo, las diferentes zonas no muestran diferencia significativa ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey.

Sandoval (2021) reporta resultados mayores al presente trabajo cuyos valores de parámetros físicos en el agua de pozo en el Centro poblado de Moro fueron, conductividad eléctrica promedio de 5270 $\mu\text{S/cm}$ que supera el límite permisible (1500 $\mu\text{S/cm}$), por su lado Hernández et al. (2018) reportó que sus valores de conductividad oscilaron entre los 15 a 50 microohms este parámetro es de gran importancia ya que está relacionado con la salinización o sodificación del suelo o el agua; por lo tanto es un indicador de la presencia de los iones, un valor alto indica mayor concentración de dichos iones Rodríguez (2009) menciona que la conductividad es la suma de las conductividades de cada ión presente en sus resultados

obtenidos, se puede observar que sus muestras de las fuentes FE1 tuvieron valores de CE de 50 tuvieron las concentraciones más altas de Ca^{2+} , HCO_3^- y Cl^- ; mientras que las muestras de las fuentes FE4, con CE bajas mostraron valores bajos de Cl^- . Los valores de calcio varían de 0.80 mg/L a 2.4.

Tabla 06: Valores de pH de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8).

PARAMETRO pH				
MUESTRA	VALORES pH	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	7.7	6.5 a 8.5	Norte	7.75
POZO 2	7.8	6.5 a 8.5		
POZO 3	7.6	6.5 a 8.5	Oeste	7.5
POZO 4	7.4	6.5 a 8.5		
POZO 5	7.6	6.5 a 8.5	Sur	7.5
POZO 6	7.4	6.5 a 8.5		
POZO 7	7.8	6.5 a 8.5	Este	8.0
POZO 8	8.2	6.5 a 8.5		
promedio	7.69			
Min	7.4			
Max	8.2			
CV	3.37			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 06 los resultados de PH se muestran con un valor mínimo de 7.4 y máximo de 8.2 con una media de 7.69. Comparando las cuatro zonas de muestreo, no muestran diferencia significativa ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey.

Hernandez (2018) encontró un pH que fue ligeramente más básico en las fuentes (6.8 a 7.77), comparado con las pipas (6.5 a 6.64) resaltando que el pH del agua es importante para el desarrollo óptimo de los organismos que la consumen, ya que el agua es factor elemental en muchas reacciones metabólicas y la regulación del equilibrio de ésta depende de mecanismos del hipotálamo que controlan la sed, de la hormona antidiurética (ADH), de la retención o excreción de agua por los riñones, Baccaro (2006) encontró valores de 6.44 y 7.48; en las fuentes valores similares al reportado por Márquez (2012), en su trabajo de investigación titulado caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia reportó un pH de 6.71 – 8.2.

Los resultados de esta investigación también se asemejan a resultados de Sandoval (2021) quien encontró parámetros químicos en el agua de pozo del Centro poblado de Moro el promedio de pH fue de 7.62 unidades que se encuentra dentro de lo normal, Respecto a este parámetro Calsin (2016) reporta un pH total de 7.39 ± 0.08 UpH en pozos artesanales y en tubulares 7.14 ± 0.12 UpH, valores cercanos a los reportados en este estudio, valor que se encuentra dentro del rango considerado como normal para este tipo de agua, al evaluar los parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, Rodríguez

(2009) la conductividad y temperatura del agua potable indica que el pH es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso y en términos prácticos, es una medida de la concentración del ion hidrógeno en la muestra. El pH del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5. también reportó que las fuentes de agua de Grecia centro y el Distrito de Tacares están cercanas a pH 7, es decir presentan un valor muy cercano al neutro para el distrito de San José se encuentra fuera del parámetro permitido y el de San Isidro se encuentra ligeramente por debajo de este límite, con un pH de 6.48.

Tabla 07: Valores de dureza total de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8).

PARAMETRO DUREZA TOTAL				
MUESTRA	DUREZA TOTAL mg/L	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	836	500	Norte	934.5
POZO 2	1033	500		
POZO 3	395.2	500	Oeste	463.6
POZO 4	532	500		
POZO 5	760	500	Sur	1140
POZO 6	1520	500		
POZO 7	661.2	500	Este	520.6
POZO 8	380	500		
promedio	764.68			
Min	380			
Max	1520			
CV	49.35			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 07 nos muestra los resultados de dureza total mg/l observando los siguientes promedios el valor máximo es de 1520 mg/l y mínimo de 380 mg/L. Comparando entre las cuatro zonas de muestreo, las diferentes zonas no muestran diferencia significativa ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey.

Comparando los resultados de esta investigación con los reportados por Calsin (2016) quien en su estudio reportó valores de dureza total del agua 628.91 mg/L para pozos artesanales y 438.91 mg/L para pozos tubulares en el sector Taparachi III de la ciudad de Juliaca por otro lado Rodríguez (2009) Indica que el agua dura es la que contiene un alto nivel de minerales y posee cantidades variables de compuestos, en particular sales de magnesio y calcio son las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de estas sales, Sandoval (2021) reportó que en el Pozo 1 obtuvo un mayor valor 210.86 mg/l, mientras que el menor valor se obtuvo para el Pozo 3 con 69.32, en promedio para los cinco pozos fue 134.19 mg/l, con una desviación estándar de 56.34 mg/l. Cuyos datos están dentro de los LMP, a la vez Valenzuela & Yucra (2022) en su trabajo de investigación titulado Evaluación de la calidad de agua subterránea del Parque Industrial Taparachi del distrito de Juliaca encontró un valor de 573 mg/L, de dureza del agua un valor más alto al límite máximo permisible del D.S. N°031-2010-SA, por tanto, no es apto para el consumo humano por exceder el límite máximo permisible, por su lado Qureshi et al. (2021) indica que la presencia de iones de calcio y magnesio contribuye a la

dureza del agua subterránea. La Organización Mundial de la Salud afirma que la dureza del agua depende del pH, por lo que si supera los 200 mg/L se considera agua dura, lo que provoca incrustaciones, Sánchez et al. (2016) obtiene un valor en dureza total (60%); Na + (9,8%); Cl - (9,9%) y NO₃ - (3%, 2012) a la vez Rodríguez (2009) corrobora que el agua dura indica que contiene un alto valor de minerales y cantidades variables de compuestos como las sales de magnesio y calcio por último Tacuri (2019) reportó valores de Dureza total máximos de 500 mg/L, y mínimo de 292.6 mg/L, en pozos de la ciudad de Juliaca cuyos valores están dentro de los LMP y difieren a la presente investigación.

Tabla 08: Valores de sulfato de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8).

PARAMETRO SULFATOS mg/L				
MUESTRAS	SULFATOS mg/L	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	48.03	250	Norte	53.8
POZO 2	59.56	250		
POZO 3	48.03	250	Oeste	49.95
POZO 4	51.87	250		
POZO 5	51.87	250	Sur	49.95
POZO 6	48.03	250		
POZO 7	51.87	250	Este	
POZO 8	51.87	250		
Promedio	51.39			
Min	48.03			
Max	59.56			
CV	7.41			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 08 se muestran los resultados de sulfato donde el Valor máximo fue 59.56 mg/L y mínimo para 48.03 mg/L. Comparando entre las cuatro zonas de muestreo, las diferentes zonas no muestran diferencia significativa ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey.

Comparando los resultados de esta investigación con otros estudios Hernández et al. (2018) reportaron promedios de 91.2 mg/L a 740.0 mg/L estos resultados son superiores a los resultados de esta investigación, sin embargo Sandoval (2021) reporta que el mayor valor para sulfatos lo obtuvo del Pozo 5 con 48.99 mg/l, mientras que el menor valor se obtuvo para el Pozo 2 y 4 con 41.78, en promedio para los cinco pozos se tiene 43.65 mg/l, con una desviación estándar de 3.09 mg/l. Considerando el límite máximo permisible (LMP) de 250 mg/l, interpretando que los sulfatos de las aguas de los pozos del Centro Poblado de Moro, no superan el LMP. Los sulfatos pueden tener una acción laxante cuando son ingeridas en cantidades elevadas que superan la capacidad del intestino para absorberlos Valderrama et al., (2010) sin embargo en este estudio los valores hallados no superaron los valores permisibles para este parámetro químico, por otro lado Valenzuela & Yucra (2022) reporta que el valor mayor de Sulfatos, lo obtuvo el pozo nuevo con una media de $159,23 \pm 29,54$ y cuyos valores oscilaron entre 780,0 y 1844,0. concluyendo que no existen diferencias significativas entre los resultados del parámetro fisicoquímico Sulfatos en ambos pozos cuyos valores superan los LMP, Hernández (2018) reportaron valores para sulfato entre 18,0 y 425 mg/L (mediana: 48,0 mg/L).

Tabla 09: Valores de nitratos de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8)

MUESTRAS	PARAMETRO NITRATOS mg/L			
	NITRATOS mg/L	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	55.8	500	Norte	111.6
POZO 2	167.41	500		
POZO 3	37.2	500	Oeste	34.1
POZO 4	31	500		
POZO 5	18.6	500	Sur	15.5
POZO 6	12.4	500		
POZO 7	43.4	500	Este	46.5
POZO 8	49.6	500		
Promedio	51.93			
Min	12.4			
Max	167.41			
CV	94.23			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 09 muestra los resultados de nitratos, teniendo un valor máximo de 167.41 mg/L y un mínimo de 12.4 mg/L. Comparando entre las cuatro zonas de muestreo, las diferentes zonas no muestran diferencia significativa ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey.

Hernández (2012) señala que para la calidad del agua en pozos reporta la presencia de nitratos de origen antropogénico en un acuífero somero con valores máximos de 55.8 mg/l, en consecuencia, reporta un valor de 29.6 mg L⁻¹ y señala que su origen se encuentra en las actividades agrícolas y ganaderas presentes en la zona, en el presente estudio reportamos un valor promedio mayor al indicado y su origen estaría también en las actividades agrícolas en la zona de estudio. Molina (2018) nos muestra que Los nitratos en el agua subterránea de Corire tienen los valores más bajos durante la primavera, con 12.78 NO₃ -mg/L para las muestras M3, y los más altos durante el invierno, con 16.14 NO₃ -mg/L para las muestras M3. Por lo tanto, durante todo el período de muestreo, se puede demostrar que los niveles de nitratos están dentro del límite establecido por DS N° 031-2010-SA de 50.00 mg/L NO₃ Molina (2018) resaltan que la presencia de ion nitrato en el agua subterránea de Corire se debe a que la región es agrícola y se utilizan fertilizantes en los cultivos, lo que provoca la lixiviación del nitrógeno en el flujo del agua subterránea. Hernández et al. (2018) también encontraron presencia de nitratos en 10 de las muestras de manantiales los cuales supera el valor máximo permisible establecido por la NB 512, con valores de hasta 105 mg/L, de la misma manera, recomendó que debe hacerse un tratamiento previo para potabilizar el agua de estas fuentes toda vez que su persistencia en el agua puede causar diferentes tipos de enfermedades.

Tabla 10: Valores de Coliformes totales de agua de pozo y comparación estadística (ANOVA de Tukey a nivel de significancia de $p < 0.05$) por zonas de estudio (Norte: Pozo 1 y 2; Oeste: pozo 3 y 4; Sur: pozo 5 y 6; Este: pozo 7 y 8)

PARAMETRO COLIFORMES TOTALES (37C°) NMP/100ml				
MUESTRAS	COLIFORMES TOTALES	LMP	ZONA	MEDIAS
POZO 1	23	≤ 1.8	Norte	71.5
POZO 2	120	≤ 1.8		
POZO 3	23	≤ 1.8	Oeste	23
POZO 4	23	≤ 1.8		
POZO 5	1100	≤ 1.8	Sur	561.5
POZO 6	23	≤ 1.8		
POZO 7	23	≤ 1.8	Este	59
POZO 8	95	≤ 1.8		
Promedio	178.75			
Min	23			
Max	1100			
CV	209.37			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se muestran los resultados de coliformes totales mostrando como valor máximo 1100 NMP /100mL y mínimo 23 NMP/100 mL con una media 178.75 NMP/100mL. Comparando entre las cuatro zonas de muestreo, las diferentes zonas no muestran diferencia significativa ($p > 0.05$) según la prueba de Tukey

Sandoval (2021) evaluó parámetros microbiológicos en el agua de pozo en el Centro poblado de Moro encontrando para coliformes totales un promedio de 109.60 UFC/100 ml superando el límite permisible (100 UFC/100 ml). Huallpara (2017) indicó que todas las muestras provenientes de los manantiales estudiados se encuentran contaminados por coliformes totales que presentan concentraciones de hasta 2400 UFC/ml; del mismo modo Molina (2018) evaluó parámetros microbiológicos identificados en el agua subterránea para consumo humano de Uraca - Corire donde encontró la presencia de Coliformes Totales

4. Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de pozos para consumo humano tienen una concentración similar en la mayoría de los puntos evaluados, los parámetros físicoquímicos están dentro de los LMP y los parámetros bacteriológicos sobrepasan los LMP, por lo tanto, no se recomienda el consumo de agua de pozos en las zonas periféricas del distrito de Cabanillas.

PRIMERA: La concentración de los parámetros físicos de las aguas de pozo de las zonas periféricas del distrito de Cabanillas, cumplen con la normativa deduciendo que los métodos de almacenamiento purificación y distribución utilizados son adecuados; en cuanto a los parámetros químicos también cumplen con la norma; con excepción de los parámetro dureza total y nitratos por superan ligeramente los parámetros de calidad; por lo que, las aguas analizadas cumplen parcialmente con los estándares de calidad para consumo humano.

SEGUNDA: Las altas concentración de coliformes totales, en las aguas de los ocho pozos de las zonas periféricas del distrito de Cabanillas indican que se encuentran contaminadas, constituyendo un alto riesgo para la salud de la población que la consume, debido a la falta de cloración, carencia de servicios sanitarios, drenaje, incumplimiento de las normas de construcción y protección adecuada de los acuíferos.

TERCERO: Comparando los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles de acuerdo al D.S. N° 031-2010-SA - DIGESA para los parámetro físico temperatura, turbidez y conductividad eléctrica cumplen con la normativa establecida por la DIGESA, en cuanto a los parámetros químicos pH y sulfatos se encuentran dentro de los LMP establecidos para consumo humano, sin embargo los parámetro dureza total y nitrato superan los LMP constituyendo un riesgo para los pobladores que las consumen.

Recomendaciones

Primero: La entidad competente debería desarrollar un Plan de Control de Calidad para los sistemas de abastecimiento de agua destinados al consumo humano, implementando acciones correctivas que aseguren la provisión de agua potable de alta calidad.

Segundo: Es necesario sensibilizar y educar a la comunidad del distrito de Cabanillas sobre la conservación de fuentes subterráneas de agua. Esto incluye el uso de filtros, métodos de ablandamiento para disminuir la dureza, y cloración para controlar los parámetros bacteriológicos, garantizando así agua segura y adecuada para el consumo humano.

Tercero: La Municipalidad Distrital de Cabanillas debe impulsar proyectos de inversión que ofrezcan a la población acceso a agua de alta calidad, contribuyendo a la prevención de problemas de salud pública relacionados con el uso de agua no segura.

Referencias

- Anduro Jordan; Cantú Soto Ernesto Uriel, E. U., Campas Baypoli, O. N., López Cervantes, J., Sánchez Machado, D. I., & Félix Fuentes, A. . (2017). *DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD SANITARIA DEL AGUA DE POZO EN COMUNIDADES DEL SUR DE SONORA, MÉXICO*. Calidad sanitaria de agua, agua de pozo, contaminación.
- BACCARO, K.; DEGORGUE, M.; LUCCA, M.; PICONE, L. (2006). *CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y RIEGO EN MUESTRAS DEL CINTURÓN HORTÍCOLA DE MAR DEL PLATA*. RIA.
- Calsin Ramirez, Katherine Vanessa. (2016). *Calidad física, química y bacteriológica de aguas subterráneas de consumo humano en el sector de Taparachi III de la ciudad de Juliaca, Puno - 2016*. Repositorio Institucional.

- Directrices de la OMS para otros factores de riesgo clave de la vivienda.* (2015). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK583409/>.
- Germán Santacruz de León, Yazmin Peña Hernández, Hilario Charcas Salazar. (2012). *Calidad del agua en pozos de la red de monitoreo del acuífero del valle de San Luis Potosí, México.* <https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/87>.
- Gil-Marín, José Alexander; Vizcaino, Celeidys ; Montañó-Mata, Nelson José . (2018). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio.* Dialnet.
- Hernández Jiménez, C., Rodríguez Castillejos, G., Acosta González, R. I., & Garza Cano, E. . (2018). *ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA PURIFICADA EN REYNOSA, TAMAULIPAS.* <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/528>.
- Irguin Alberto Bracho-Fernández; Moraima Fernández-Rodríguez. (2017). *Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentín, Maracaibo.* Redalyc.
- Joan Alberto Sánchez, Teresa Álvarez, Julia Guadalupe, Laura Carrillo, Roger Gonzales . (2016). *Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, Mexico.* <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353549828005.pdf>.
- Leandro MARCÓ, Ricardo AZARIO, Celia METZLER y María del Carmen. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina).* [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf).
- Lizangela Huallpara Lliully, Mauricio Ormachea Muñoz, María Eugenia García Moreno. (2017). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA.* <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426353866001>.
- Marca Añasco, Juan Gabriel. (2022). *Determinación de los parámetros bacteriológicos y físico-químicos del agua subterránea para el consumo humano, en la Urbanización Magisterial, Zona 4 Totorani - Alto Puno.* <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/493>.
- Mhosisi Masocha, Timothy Dube, Thokozani Dube. (2019). *Integrating microbiological and physico-chemical parameters for enhanced spatial prediction of groundwater quality in Harare.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706518301335>.
- Molina Gutiérrez, Lorena Yuliet. (2018). *Propuesta de uso del agua subterránea del distrito de Uraca-Corire para el consumo humano mediante la identificación de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos.* <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/5166a7b4-8f7d-4f5b-932d-b203268be791>.
- Salud, M. d. (2010). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.* Peru: Gob.pe.
- Vilcapaza, E. M. (2012). *Propuesta de Estandares Nacionales de calidad ambiental para agua subterránea.* <https://es.slideshare.net/slideshow/propuesta-calidad-agua-subterránea/33274912>.