

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO
HUMANO, DISTRITO DE KELLUYO CENTRO POBLADO CHACOCOLLO -**

PUNO, 2025

PRESENTADA POR:

EDGAR CHOQUE ILLACUTIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://www.upsc.edu.pe) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



10.62%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 21 OCT 2025, 6:50 PM

Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
4.93%

● CHANGED TEXT
5.68%

Report #29414527

EDGAR CHOQUE ILLACUTIPA // EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO HUMANO, DISTRITO DE KELLUYO CENTRO POBLADO CHACOCOLLO - PUNO, 2025 RESUMEN La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua proveniente de pozos subterráneos destinados al consumo humano en el centro poblado de Chacocollo, distrito de Kelluyo, durante el año 2025. **1 4** Bajo un enfoque cuantitativo, se recolectaron muestras de agua en tres pozos de la zona siguiendo los protocolos establecidos por el Ministerio del Ambiente, y los análisis se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano, considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, registrándose valores de pH de 6,55; 6,59 y 6,75 unidades; temperatura constante de 15 °C; dureza de 300,00; 280,00 y 382,00 mg/L; alcalinidad de 211,50; 197,40 y 234,00 mg/L; cloruros de 89,97; 85,96 y 65,97 mg/L; sulfatos de 121,20; 118,30 y 105,20 mg/L; y sólidos disueltos totales de 201,40; 212,60 y 264,30 mg/L. Asimismo, se detectó la presencia de coliformes totales con valores de 0,30 NMP/100 ml en los pozos 1 y 2, y coliformes termotolerantes con un promedio de 0,10 NMP/100 ml,

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA CONSUMO
HUMANO, DISTRITO DE KELLUYO CENTRO POBLADO CHACOCOLLO -
PUNO, 2025**

PRESENTADA POR:

EDGAR CHOQUE ILLACUTIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA



PRIMER MIEMBRO

:

Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ



SEGUNDO MIEMBRO

:

Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS



ASESOR DE TESIS

:

Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA



Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 29 de octubre del 2025

DEDICATORIA

A Dios que ha sido mi guía, fuerza y su mano de fidelidad y amor ha estado conmigo para cumplir mis metas y objetivos educativos, que con su bendición llena constantemente mi existencia, y a todo mi círculo familiar por estar siempre presentes.

A mis padres que con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por inculcarme el ejemplo de valores éticos, responsabilidad y respeto.

Por último, me gustaría dedicar esta tesis a todos mis amigos, por ayudarme cuando más lo necesitaba, por tenderme la mano en los momentos más difíciles de mi vida profesional y por el incentivo que me dieron. Los llevaré siempre en mi corazón y mente.

Edgar Choque Illacutipa

AGRADECIMIENTOS

- A mi **Universidad Privada San Carlos - Puno**, por brindarme una formación profesional de alto nivel para el desarrollo de mi región de Puno.
- De igual manera mis agradecimientos a toda la **Facultad de Ingenierías**, a mis profesores quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de vosotros por vuestra mansedumbre, fuerza de voluntad, ayuda incondicional y amistad.
- A mis padres por su apoyo incondicional.
- A mi Asesor: **Mg. Julio Wilfredo Cano Ojeda**, quien con su dirección, conocimientos, enseñanza y colaboración, permitió el perfeccionamiento de este trabajo de Investigación.
- Por último, a todos los miembros del jurado por la verificación, revisión para el perfeccionamiento de mi investigación.

Edgar Choque Illacutipa

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	14
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.	15
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	17
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	22
2.1.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	22

2.1.2. MARCO CONCEPTUAL	27
2.1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	28
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. ZONA DE ESTUDIO	29
3.2. TAMAÑO DE MUESTRA	30
3.2.1 POBLACIÓN	30
3.2.2 MUESTRA	30
3.3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS	31
3.4.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO	31
3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	35
3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO	35
CAPÍTULO IV	
EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	
4.1. PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS	36
4.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	50
4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	54
4.3.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.	54
4.3.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.	55
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Límites Máximos Permisibles para agua potable	27
Tabla 02: Operacionalización de variables	35
Tabla 03: Parámetros físico-químicos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025	36
Tabla 04: Prueba de T se Student sobre los parámetros fisicoquímicos	48
Tabla 05: Parámetros microbiológicos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025	50
Tabla 06: Prueba de T de Student sobre los parámetros microbiológicos	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Ubicación del lugar de estudio, Distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo.	
30	
Figura 02: pH del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo,	
2025	37
Figura 03: Conductividad del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	38
Figura 04: Sólidos totales disueltos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro	
Poblado Chacocollo, 2025	39
Figura 05: Cloruros del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	40
Figura 06: Sulfatos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	41
Figura 07: Dureza total del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	42
Figura 08: Alcalinidad del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	43
Figura 09: Calcio del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	44
Figura 10: Cloro libre del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	45
Figura 11: Salinidad del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	46
Figura 12: Temperatura del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado	
Chacocollo, 2025	47
Figura 13: Bacterias coliformes termotolerantes o fecales en el agua subterránea en el	
distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025	52

Figura 14: Toma de muestras de los pozos respectivos	66
Figura 15: Identificación de las muestras a analizar	66
Figura 16: Registrando información y rotulado	67
Figura 17: traslado de las muestras al laboratorio	67

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia	63
Anexo 02: Certificados de análisis	64
Anexo 03: Panel fotográfico	66

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua proveniente de pozos subterráneos destinados al consumo humano en el centro poblado de Chacocollo, distrito de Kelluyo, durante el año 2025. Bajo un enfoque cuantitativo, se recolectaron muestras de agua en tres pozos de la zona siguiendo los protocolos establecidos por el Ministerio del Ambiente, y los análisis se realizaron en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano, considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo N.° 031-2010-SA, registrándose valores de pH de 6,55; 6,59 y 6,75 unidades; temperatura constante de 15 °C; dureza de 300,00; 280,00 y 382,00 mg/L; alcalinidad de 211,50; 197,40 y 234,00 mg/L; cloruros de 89,97; 85,96 y 65,97 mg/L; sulfatos de 121,20; 118,30 y 105,20 mg/L; y sólidos disueltos totales de 201,40; 212,60 y 264,30 mg/L. Asimismo, se detectó la presencia de coliformes totales con valores de 0,30 NMP/100 ml en los pozos 1 y 2, y coliformes termotolerantes con un promedio de 0,10 NMP/100 ml, superando los límites permitidos. Aunque los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la normativa vigente, los indicadores microbiológicos exceden los valores aceptables, por lo que se concluye que el agua subterránea evaluada no cumple con los estándares de calidad requeridos para el consumo humano.

Palabras clave: Agua, Fisicoquímicos, Microbiológicos, Parámetros, Pozos subterráneos.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the quality of water from underground wells intended for human consumption in the populated center of Chacocollo, Kelluyo district, during the year 2025. Using a quantitative approach, water samples were collected from three wells in the area following protocols established by the Ministry of the Environment. The analyses were conducted in the laboratory of the Faculty of Chemical Engineering at the National University of the Altiplano, considering physical, chemical, and microbiological parameters. The results were compared with the maximum permissible limits established in Supreme Decree No. 031-2010-SA, recording pH values of 6.55, 6.59, and 6.75 units; a constant temperature of 15 °C in all three wells; hardness levels of 300.00, 280.00, and 382.00 mg/L; alkalinity of 211.50, 197.40, and 234.00 mg/L; chloride concentrations of 89.97, 85.96, and 65.97 mg/L; sulfate levels of 121.20, 118.30, and 105.20 mg/L; and total dissolved solids of 201.40, 212.60, and 264.30 mg/L. Additionally, the presence of total coliforms was detected at 0.30 MPN/100 ml in wells 1 and 2, and thermotolerant coliforms averaged 0.10 MPN/100 ml, exceeding the permitted limits. Although the physicochemical parameters were within the ranges established by current regulations, the microbiological indicators surpassed acceptable values, leading to the conclusion that the evaluated groundwater does not meet the quality standards required for human consumption.

Keywords: Water, Physicochemical, Microbiological, Parameters, Underground wells.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación pretende evaluar la calidad del agua subterránea que se obtiene de los pozos del distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, La calidad del agua es un factor determinante para la salud de los ecosistemas, el desarrollo humano y la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, en muchas ciudades del país, el crecimiento urbano desordenado, la falta de infraestructura sanitaria y la débil fiscalización ambiental han propiciado el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento previo a cuerpos naturales de agua, lo que representa una amenaza para el bienestar de las comunidades y la integridad de los recursos hídricos(Chávez & Alberto, 2018).

Por lo cual se busca inicialmente contribuir con el conocimiento sobre los parámetros del agua que proviene de pozos subterráneos, respecto a su calidad en los tres componentes que la definen (físicos, químicos y microbiológicos), mientras que en la parte aplicada el estudio será de prevención a los pobladores sobre la actualidad del agua que vienen consumiendo y de ser el caso emitir recomendaciones prácticas para potabilizarla y ser inocua para su salud.

Además, desde el enfoque económico el estudio se justifica por la contribución a la salud pública, puesto que dentro de la misma se encuentra la salud preventiva, que busca identificar situaciones potenciales de peligro en la población, como sería el caso del consumo de agua no apta, por tanto se ahorraría los costos que implica el tratamiento de enfermedades producidas por agua contaminada tanto a mediano como largo plazo. Con lo cual esperamos contribuir con un aspecto poco abordado en nuestra sociedad, puesto que se considera que el acceso al agua debe ser un derecho y este no es asumido por el Estado, por lo que la población recurre de manera obligada a fuentes alternativas, donde los organismos que deben velar por la salud de la población no asumen su rol vigilante de la calidad de estas aguas.

El agua es el recurso más importante para el sustento de la vida en el planeta, sin embargo, en ciertas zonas no siempre se halla disponible en forma de agua superficial, por lo que los grupos humanos deben buscarla mediante la construcción de pozos

subterráneos. Este tipo de agua no siempre tiene la calidad de agua necesaria para el consumo humano, puesto que su origen es diverso y las condiciones de su almacenamiento pueden afectar dicha calidad.

Actualmente el país cuenta con la normatividad respecto a los parámetros de calidad de agua destinada para consumo humano, por lo que, dentro de las competencias de los profesionales en ingeniería ambiental, se encuentra también el evaluar la calidad de los recursos hídricos, sobre todo aquellos que se destinan para el consumo humano directo.

En base a lo expresado el estudio tuvo como objetivo el evaluar la calidad del agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025, considerando que los pobladores de esta zona consumen dicha agua de forma directa, se realizaron los análisis físicos, químicos y microbiológicos pertinentes, siguiendo el D.S. N° 031-2010-SA, en donde se especifica los parámetros y los valores que deben presentar para ser considerada apta para su consumo humano.

La presente investigación presenta los siguientes contenidos:

El Primer capítulo presenta el planteamiento del problema, los antecedentes y los objetivos, contextualizando la necesidad de evaluar el agua subterránea del distrito de Kelluyo, centro poblado de Chacocollo.

El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, conceptual y las hipótesis, proporcionando el sustento científico que orienta el análisis de la calidad del agua.

En el tercer capítulo se describe la metodología empleada, incluyendo el diseño de muestreo y las técnicas utilizadas para recolectar y analizar las muestras. Finalmente,

El cuarto capítulo expone y analiza los resultados obtenidos, y formula conclusiones y recomendaciones que permiten valorar la aptitud del agua para el consumo humano en el centro poblado de Chacocollo

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un elemento vital para la supervivencia humana, y su acceso es reconocido como un derecho fundamental. No obstante, en diversas partes del mundo, su calidad resulta inadecuada para el consumo, lo que obliga a buscar alternativas como el uso de fuentes subterráneas. Estas fuentes son utilizadas tanto para la hidratación, alimentación y el aseo personal. Se estima que el 21 % del agua mundial se encuentra en acuíferos y puede extraerse a través de pozos, aunque con frecuencia no alcanza los estándares requeridos para el consumo seguro e inmediato. Además, la contaminación y el uso excesivo de estos recursos subterráneos agravan la escasez de agua potable, afectando a millones de personas. Por ello, resulta esencial fomentar el tratamiento adecuado del agua y su conservación para asegurar su disponibilidad a largo plazo (Márquez et al., 2012)

En el Perú, el uso de aguas subterráneas es una práctica común, aunque en muchos casos su calidad no es adecuada para el consumo humano. La ingesta de agua contaminada puede derivar en múltiples problemas de salud, afectando especialmente a las poblaciones más vulnerables. Para hacer frente a esta problemática, la Dirección General de Salud Ambiental estableció en el año 2000 el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”, un marco normativo destinado a regular y mejorar la seguridad del agua potable. Este reglamento busca garantizar estándares adecuados de

calidad, promoviendo tratamientos y controles más estrictos frente a los riesgos sanitarios.

En Puno, investigaciones recientes han determinado que aproximadamente un 30% de los habitantes en Juliaca debe abastecerse de agua mediante pozos subterráneos, dado que, principalmente a que la empresa responsable de la red de alcantarillado público no proporciona este servicio esencial a todos los sectores. Lo más preocupante es que esta agua es consumida directamente por la población sin ningún tipo de tratamiento previo ni análisis que garantice su aptitud para ser catalogada como potable para consumo humano. Generalmente, estos sistemas de extracción son pozos tubulares, es decir, perforaciones específicas que, mediante mecanismos de bombeo, facilitan la extracción del recurso hídrico desde diversas profundidades del subsuelo, exponiendo potencialmente a sus usuarios a contaminantes no detectados y riesgos sanitarios que podrían prevenirse con infraestructura adecuada. (Sagua, 2023)

Hasta el presente momento de la elaboración de esta propuesta investigativa en el distrito de Kelluyo, se evidencia una ausencia de antecedentes que hayan analizado la composición fisicoquímica y microbiológica de las aguas subterráneas extraídas de pozos para el consumo poblacional. Por tal motivo, consideramos de suma importancia realizar una evaluación exhaustiva de dichos recursos hídricos con el propósito de aportar conocimientos aplicables que permitan prevenir potenciales problemas de salud pública, tales como intoxicaciones derivadas de la ingesta de elementos nocivos presentes en el agua, así como posibles infecciones causadas por la presencia de coliformes termotolerantes que representan un riesgo para el bienestar de los habitantes de esta localidad.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la calidad del agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿La concentración de los parámetros físicos y químicos del agua subterránea,

cumplirán con los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?

- ¿La concentración de los parámetros microbiológicos del agua subterránea para consumo humano, cumplirán con los límites máximos permisibles (LMP) en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.

Castillo (2024), indica que la contaminación del agua está asociada con enfermedades que afectan la salud humana, debido a la presencia de microorganismos y sustancias químicas. En Colombia, se monitorean tanto contaminantes microbiológicos como sustancias químicas, incluidos metales, para detectar niveles que excedan los límites establecidos. **Objetivo:** Identificar estadísticas e investigaciones publicadas en materia de calidad del agua y su posible asociación con la aparición de enfermedad renal en los habitantes de los municipios aledaños al río Magdalena en el departamento del Tolima. **Metodología:** Se analizaron los datos del Índice de Riesgo para la Calidad del Agua para consumo humano (IRCA), Los resultados obtenidos señalan que en los municipios con puntajes de IRCA menores a 60 existe una asociación significativa con el aumento de la incidencia de enfermedades renales en cinco de los seis períodos evaluados. La revisión documental reveló tres estudios que analizaron la calidad del agua en la cuenca del río Magdalena, recolectando muestras en áreas cercanas al departamento del Tolima.

Izabá & Morales (2022), realizaron un estudio sobre la calidad del agua subterránea para riego, monitoreando niveles piezométricos y evaluando el balance hídrico en dos pozos de referencia entre mayo de 2020 y abril de 2021. Los resultados indicaron que las variaciones en los niveles piezométricos siguen un ciclo hidrológico natural influenciado por las lluvias. Asimismo, el estudio mostró que el riego no genera sobreexplotación del acuífero, ya que el volumen de agua ingresada supera al extraído. El excedente se almacena en el acuífero, garantizando su disponibilidad a largo plazo. Finalmente, se confirmó que el agua en esta zona es apta para riego, asegurando su uso sostenible en

la agricultura.

Beraun & Reshea (2023),) realizaron un estudio sobre la calidad del agua para consumo humano en el AA.HH. Villa Cruz, donde se extrae agua de pozos subterráneos y se distribuye mediante tuberías a dos sectores. Se analizaron muestras de dos puntos de abastecimiento, evaluando parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados. Los resultados indicaron que el pozo 1 cumple con los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental en todos los parámetros analizados, lo que lo hace apto para el consumo. En cambio, el pozo 2 presentó contaminación microbiológica fuera de los estándares establecidos, lo que lo vuelve no apto para el consumo humano, aunque el índice de metales pesados se mantuvieron dentro de los límites permitidos. Esto resalta la necesidad de monitoreo y tratamiento del agua para garantizar su seguridad sanitaria. Además, es fundamental promover políticas de gestión del agua que aseguren su calidad y disponibilidad para la población, reduciendo el impacto en la salud pública.

Sánchez & Solange (2023), en su investigación bibliográfica, examinaron la calidad microbiológica del agua destinada a la población en Ecuador, revisando artículos científicos recientes. Sus hallazgos enfatizan que evaluar la calidad hídrica es crucial para proteger la salud poblacional, señalando que el agua no potable propicia enfermedades gastrointestinales causadas por microorganismos patógenos. Los estudios ecuatorianos indican que el agua apta para consumo debe cumplir parámetros establecidos por la Norma Técnica INEN 1108-2020. Las autoridades responsables deben implementar medidas preventivas contra la contaminación microbiológica, recomendándose no beber agua directamente del grifo, hervirla brevemente y utilizar mecanismos de filtración. Esto resalta la importancia de los controles regulares y el tratamiento adecuado del agua como elementos clave para la salud pública. La vigilancia continua de los recursos hídricos constituye un pilar esencial en comunidades vulnerables.

1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Saldaña et al. (2021), evaluaron la calidad microbiológica del agua para consumo

humano en Fila Alta-Jaén-Cajamarca, mediante análisis de coliformes totales (CT), coliformes termotolerantes (CTT) y bacterias heterotróficas (BH). Examinaron 32 muestras del sistema de abastecimiento y redes domiciliarias, siguiendo el protocolo DIGESA-2015. Los resultados revelaron que 31.66% para CT, 13.59% para CTT y 54.75% para BH excedían los LMP establecidos por el Reglamento (DS N° 031-2010-SA). Por ende, se subraya la preocupante situación de contaminación microbiológica en sistemas de agua rurales y periurbanos, evidenciando fallas en los procesos de tratamiento y distribución que representan un riesgo significativo para la salud comunitaria. Los hallazgos destacan la urgente necesidad de implementar monitoreos sistemáticos y mejorar la infraestructura sanitaria existente.

La investigación de Castillo & Diana (2024), abordó las deficiencias hídricas en tres sectores vidueños que dependen de métodos rudimentarios para abastecimiento y evacuación de aguas. El análisis reveló que, mediante un simple proceso de cloración, el recurso hídrico sería apto para consumo. El diseño propuesto contempla un sistema impulsado mecánicamente con almacenamiento elevado en Zaraque y conductos PVC de 6 pulgadas extendidos por más de dos kilómetros. Se establecieron parámetros hidráulicos específicos y se determinó segmentar el sistema de desagüe en dos zonas estratégicas: una autónoma para Zaraque-La Gloria con conductos de diversos diámetros, y otra integrada al sistema urbano principal para El Socorro, evitando interferencias con infraestructura del Proyecto Chavimochic. Esta solución no solo resuelve problemas sanitarios inmediatos, sino que establece un precedente para comunidades rurales con limitaciones similares. El enfoque bifurcado del alcantarillado demuestra cómo adaptar infraestructuras a condiciones geográficas particulares, protegiendo simultáneamente obras de irrigación existentes.

La investigación de Cangalaya et al., (2023), analizó componentes físico-químicos y bacteriológicos del agua subterránea, y diseñar un sistema de suministro hídrico. Mediante una metodología básica de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño no experimental, utilizaron observación directa y análisis documental como técnicas

recolectoras, empleando guías de observación y fichas resumen como instrumentos. El estudio, dirigido a 918 habitantes, determinó que la urbanización Santa Julia presenta topografía llana con inclinaciones moderadas inferiores al 15%, compuesta por suelo SP-SM (arena pobremente graduada con limos), favorable para cimentación. Los análisis bacteriológicos revelaron contaminación superior a los estándares permitidos. El sistema propuesto incluye un pozo tubular de 20 pulgadas y 40 metros de profundidad. En esta línea, esto no solo responde a necesidades locales inmediatas, sino que representa un modelo replicable frente a la crisis hídrica nacional. La integración de tecnología de extracción subterránea con tratamiento adecuado constituye una alternativa viable que combina sostenibilidad y accesibilidad, especialmente relevante en contextos donde los sistemas convencionales de abastecimiento resultan insuficientes o inviables.

Olaya (2024), realiz análisis microbiológicos y fisico-químicos del agua subterránea en la provincia de Sullana. Para evaluar las condiciones del agua en 10 pozos de la provincia. Se encontraron variaciones significativas: el pH osciló entre 6.43 y 7.68; la conductividad varió de 623 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 3730 $\mu\text{S}/\text{cm}$; la turbidez fluctuó entre 0.03 UNT y 3.29 UNT; los sólidos disueltos oscilaron entre 211 mg/l y 869 mg/l; la alcalinidad varió de 170 mg/l a 830 mg/l; la dureza estuvo en un intervalo de 330 mg/l a 2666 mg/l; mientras que el contenido de cloruros osciló entre 39.98 mg/l y 1499 mg/l. Finalmente, el número de coliformes totales registró valores de 0.36 a 160 NMP/100 ml. El análisis estadístico ANOVA reveló un efecto significativo en los parámetros presentes en las aguas subterráneas de Sullana, evidenciando diferencias en su distribución. Esto se debe a que la significancia obtenida fue de 0.00, un valor menor al p-valor = 0.05. Como conclusión, se determinó que la calidad del agua subterránea está influenciada por la profundidad de los pozos, además de que el cumplimiento de los parámetros se alinea con la categoría A3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), con variaciones en su significancia respecto (LMP) para el consumo humano.

Araujo et al., (2023), indican que en el distrito de Virú, se encuentran en uso solo 1,139 pozos, de los cuales 1,022 (equivalente al 89.73%) pertenecen a pozos de tajo abierto,

mientras que 117 (10.27%) son pozos tubulares. Se buscó analizar la contaminación bacteriológica presente en las fuentes subterráneas de agua destinadas al consumo humano en la zona poblada de Virú, dentro del mismo distrito, durante el año 2028. Se determinó que el 100% de los pozos contenían coliformes totales y un 25% también presentaba coliformes termotolerantes. Sobre la presencia de bacterias heterótrofas, se evidenció que la mayor parte de los pozos excedía los valores límite definidos como aptos para su consumo seguro. En conclusión, el agua extraída de los pozos subterráneos, tanto tubulares como de tajo abierto en Virú, no cumple con estándares para su consumo seguro, por lo que su uso se restringe a la agricultura y actividades recreativas, siempre que se realice un proceso de cloración previo.

1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES

Quispe (2024), revela que las comunidades campesinas del lago Titicaca en Coata enfrentan desabastecimiento de agua, recurriendo a aguas subterráneas sin evaluar su calidad. En el contexto geográfico del altiplano peruano, específicamente en la región circundante al emblemático lago Titicaca, se ha identificado una problemática hídrica significativa que afecta a las comunidades campesinas del distrito de Coata. La investigación desarrollada expone un escenario crítico donde los habitantes, ante la escasez de recursos hídricos, recurren a fuentes subterráneas sin una evaluación científica previa de su composición química. Mediante una metodología rigurosa de corte cuantitativo y diseño no experimental, se realizó un estudio sistemático en cinco ubicaciones estratégicas, utilizando técnicas de observación y herramientas de análisis especializadas. Los resultados revelaron variaciones importantes en las concentraciones de arsénico, con algunas zonas superando los límites establecidos por la normativa peruana, mientras que otras demostraron condiciones más favorables para el consumo humano. Se requiere implementar sistemas de monitoreo en zonas rurales, desarrollar estrategias de gestión hídrica que garanticen el acceso a agua potable, y realizar evaluaciones periódicas de fuentes subterráneas para proteger la salud de las comunidades altiplánicas.

Escobar (2024), analizó la calidad físico-química y microbiológica del agua en Vilcachile, a través de un estudio en cuatro pozos. Se encontró que el pH variaba entre 6.67 y 7.02, la temperatura se mantenía en 14 °C y la conductividad eléctrica fluctúa entre 97.80 y 117.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando baja salinidad. Respecto a los parámetros microbiológicos, se detectó una presencia mínima de bacterias coliformes (<1 UFC/100 ml), lo que confirma su aptitud para el consumo humano. Estos resultados subrayan la importancia de monitorear los acuíferos subterráneos y realizar evaluaciones periódicas para garantizar el abastecimiento seguro de agua en comunidades rurales. Además, estos hallazgos mejoran la comprensión de la calidad del agua en zonas altas y aportan información clave para la salud pública.

Condori (2023), llevó a cabo un análisis de la calidad del agua en un pozo del barrio Azoguini de Puno, evaluando 12 parámetros. De estos, cinco (incluyendo color, temperatura y alcalinidad) no coincidieron con los valores máximos permitidos. En contraste, cinco de los siete restantes cumplieron con la normativa establecida, mientras que la dureza total y los cloruros no se ajustaron a los estándares. En cuanto a los aspectos microbiológicos, se detectaron niveles elevados de coliformes totales (240.00 NMP/100 ml), coliformes termotolerantes (75.00 NMP/100 ml) y E. coli (9.30 NMP/100 ml), superando los límites permitidos y determinando que el agua no es apta para consumo. Estos resultados resaltan la urgencia de implementar sistemas de purificación en áreas urbanas periféricas, debido a los riesgos sanitarios asociados con fuentes de agua sin tratamiento adecuado.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad del agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la concentración de los parámetros físicoquímicos del agua subterránea de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el

distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

- Determinar la concentración de los parámetros microbiológicos del agua subterránea de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Aguas subterránea

Las aguas subterráneas, que representan el 96% del agua dulce terrestre, son masas hídricas ubicadas bajo la superficie del suelo. Estos recursos proporcionan servicios cruciales para personas y ecosistemas, con un 60% destinado a agricultura en zonas áridas, mientras que el 25-40% del agua potable mundial proviene de estas fuentes. Las megaciudades y centros urbanos dependen de estos reservorios, constituyéndose como un recurso estratégico frente a la pobreza, especialmente en regiones de clima seco (Ordoñez, 2011) Almacenadas en acuíferos, formaciones geológicas porosas con conexiones al agua superficial, las aguas subterráneas representan un sistema hídrico complejo y fundamental para la supervivencia humana. Las aguas subterráneas emergen como un recurso hídrico primordial, trascendiendo su mera existencia para convertirse en un elemento geopolítico y estratégico para el desarrollo sostenible de comunidades vulnerables en ecosistemas áridos y semiáridos. (Apaza & Calsina, 2014)

Clasificación

De acuerdo con Soriano 2018), se tiene la siguiente clasificación.

Aguas edáficas: aquellas aguas vitales para el desarrollo vegetal, ubicadas estratégicamente en la zona de aireación del suelo, donde se despliegan procesos complejos de interacción hídrica. Estas aguas se mantienen retenidas mediante sofisticados mecanismos de capilaridad entre las partículas edáficas, ejerciendo un rol

biológico crítico para la nutrición, desarrollo y sostenimiento de los sistemas vegetales. Su presencia no solo garantiza la hidratación de las plantas, sino que también participa en procesos fundamentales como la absorción de nutrientes, la regulación térmica y el mantenimiento de la estructura y elasticidad de los tejidos vegetales.

Aguas freáticas: reservorios hídricos subterráneos localizados en la zona de saturación del suelo, caracterizados por su alta vulnerabilidad a las intervenciones antropogénicas. Al momento de perforar un terreno, estas aguas emergen como primera manifestación líquida, revelando su posición estratégica en el perfil geológico. Su naturaleza dinámica las convierte en sistemas particularmente sensibles a los impactos de actividades humanas, como la agricultura intensiva, la urbanización descontrolada y los procesos industriales, lo que las hace susceptibles a potenciales procesos de contaminación química, biológica y sedimentaria.

El agua subterránea desempeña un rol fundamental en los sistemas productivos y de consumo, representando aproximadamente el 43% del agua destinada al riego agrícola mundial y constituyendo una fuente crítica para la industria alimentaria. Su importancia se extiende al consumo humano, donde abastece hasta un tercio del agua potable, lo que implica la necesidad imperiosa de garantizar estándares de calidad que aseguren su aptitud para el consumo directo de las poblaciones (Chibinda & de los Ángeles, 2018). La relevancia de estas reservas hídricas subterráneas trasciende los límites de la producción agrícola, configurándose como un elemento estratégico para la salud en comunidades en diversos ecosistemas (Fernández & Fernández, 2007)

EXTRACCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Pozos artesianos

Estos pozos representan sistemas hídricos singulares que alcanzan un manto cautivo de agua, caracterizados por un fenómeno hidrodinámico único donde el nivel freático se ubica por arriba de la superficie del pozo, permitiendo que el líquido fluya de manera natural por acción gravitacional. El principio fundamental radica en que el agua tiende a alcanzar su gradiente original, lo que genera una extraordinaria ventaja técnica: la

obtención de agua sin requerir energía adicional. Esta característica los convierte en soluciones hídricas altamente eficientes y sostenibles, minimizando costos operativos y maximizando el aprovechamiento de recursos naturales (Campos & Calsina, 2014)

Pozos tubulares

Constituyen infraestructuras de ingeniería hidráulica diseñadas para acceder a reservorios hídricos confinados en profundidades significativas. La metodología de implementación implica una perforación precisa mediante sondas especializadas que penetran estratos geológicos hasta interceptar el acuífero deseado (Esparza, 2010). A diferencia de los pozos artesianos, estos sistemas requieren intervención energética para la extracción del recurso, generalmente mediante bombas de impulsión. Su diseño demanda estudios hidrogeológicos rigurosos y cálculos detallados para determinar el volumen potencial de aporte, considerando variables geológicas, hidrológicas y de demanda hídrica específica (Huerta 2009)

PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA

Demanda biológica de oxígeno

La DBO5 es un parámetro hidrobiológico fundamental que cuantifica la cantidad de oxígeno (en mg/L), requerida para el proceso de oxidación biológica de componentes presentes en aguas residuales. Esta metodología analítica se desarrolla mediante un riguroso protocolo de laboratorio que involucra un período de incubación de cinco días a una temperatura constante de 20°C. El indicador mide la actividad metabólica de los microorganismos durante la descomposición de materia orgánica, evaluando la concentración de oxígeno disuelto consumido en procesos bioquímicos de oxidación. Su importancia radica en proporcionar una evaluación cuantitativa precisa del potencial contaminante orgánico en diferentes sistemas hídricos, revelando la capacidad de autodepuración y el estado ecológico de cuerpos de agua (Sunass, 2003)

Demanda química de oxígeno

La DQO determina la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de materia orgánica e inorgánica en el agua, empleando dicromato de potasio como agente

oxidante. El procedimiento dura aproximadamente 3 horas, relacionándose con la DBO, pero sin distinguir materia biodegradable. Su valor siempre es superior a la DBO, expresándose en mg/L, y permite cuantificar los compuestos orgánicos presentes en aguas residuales mediante procesos químicos de oxidación. La DQO se considera un índice clave para analizar la calidad del agua, proporcionando una visión integral de la carga contaminante mediante un método químico que supera las limitaciones de los análisis biológicos convencionales. Su capacidad para determinar la oxidabilidad de compuestos orgánicos e inorgánicos permite una ayuda a conocer mejor la complejidad de los sistemas acuáticos (Oscoco, 2020).

PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA

Temperatura

Constituye un parámetro físico fundamental que trasciende la simple medición del calor, representando un indicador dinámico y multifactorial en la caracterización de sistemas hídricos. En el contexto acuático, este parámetro no solo refleja las condiciones ambientales inmediatas, sino que opera como un modulador complejo de procesos biogeoquímicos, influenciando decisivamente la estructura y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos. Su relevancia científica se manifiesta en múltiples dimensiones: regula la actividad biológica, determinando la velocidad de metabolismo de microorganismos; condiciona la solubilidad y disponibilidad de oxígeno, crucial para la vida acuática; interviene en procesos fisicoquímicos como precipitación de sustancias, desinfección, floculación y filtración; y actúa como un vector sensible para comprender las transformaciones y equilibrios en sistemas hídricos naturales y artificiales (Molina & Lorena 2018)

Sólidos totales en suspensión

Los sólidos suspendidos representan un componente crítico respecto a la calidad del agua, definidos por partículas de diminuto peso específico (2.00 μm o menos) que permanecen dispersas en el medio líquido sin precipitarse. Su origen es multifactorial, derivando principalmente de procesos erosivos en suelos, descomposición de materia

orgánica, actividad planctónica y fragmentos microscópicos compuestos por virus, limo y arena. Estos sólidos generan transformaciones organolépticas significativas en el agua, manifestándose a través de alteraciones cromáticas, modificaciones en sabor y olor. Su importancia técnica y regulatoria trasciende la mera descripción física, constituyéndose como un parámetro fundamental para evaluar la calidad hídrica y determinar la viabilidad de vertimientos en diferentes cuerpos de agua. La interrelación de estos sólidos con otros parámetros fisicoquímicos, como la conductividad eléctrica, ofrece una perspectiva sistémica sobre la complejidad de los ecosistemas acuáticos y sus dinámicas de transformación (Robles et al., 2013)

Potencial hidrógeno (pH)

El potencial hidrógeno (pH) emerge como un parámetro fundamental en la caracterización química del agua, proporcionando información crítica sobre su naturaleza ácida, neutra o básica mediante la evaluación de la concentración de iones hidrógeno. Ahora bien, el agua pura típicamente presenta un valor cercano a 7 unidades, constituyéndose como punto de referencia para identificar posibles alteraciones que sugieran contaminación por metales pesados u otros agentes de origen antropogénico. La escala de medición, comprendida entre 0 y 14 unidades, permite una taxonomía precisa: valores inferiores a 7 indican acidez, mientras que superiores revelan una composición básica. Desde una perspectiva técnica, la determinación de la alcalinidad o acidez titulable adquiere especial relevancia cuando los valores se aproximan a umbrales críticos (por debajo de 4,4 o por encima de 9,6 unidades), lo que demanda una evaluación rigurosa. La medición del pH se recomienda realizar en el mismo lugar, garantizando la representatividad y fidelidad (MINAM, 2016)

Parámetros microbiológicos

a. Coliformes termotolerantes

Segun Ramírez et al. (2009), los coliformes fecales son microorganismos capaces de fermentar lactosa a temperaturas cercanas a 45 °C. Este grupo reducido es clave para evaluar la calidad microbiológica del agua (DIGESA, 2010). Se originan en el tracto

intestinal y, por ello, deberían estar ausentes en la mayoría de los ecosistemas hídricos. Su presencia es mayormente atribuida a la especie *Escherichia coli* (*E. coli*), la cual es indol positivo y puede desarrollarse hasta los 45 °C. Dado que estos microorganismos forman parte de la flora intestinal, su detección en agua y alimentos es un indicador confiable de higiene. Entre el 90 % y 100 % de los coliformes fecales corresponden a *E. coli*, aunque en aguas residuales y muestras contaminadas esta proporción disminuye al 59 %.

Límites Máximos Permisibles para agua potable

Tabla 01: Límites Máximos Permisibles para agua potable

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Temperatura	°C	<35
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Sólidos totales disueltos	mgL-1	1000
Demanda química de oxígeno	mgL-1	200
Demanda bioquímica de oxígeno	mgL-1	100
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL a 44,5°C	0

2.1.2. MARCO CONCEPTUAL

Calidad del agua: El total de características físico-químicas y biológicas que determinan la aptitud del recurso hídrico para diferentes usos. Más allá de evaluar parámetros estándar, representa un sistema complejo que garantiza la seguridad del agua, considerando su idoneidad para consumo humano, procesos industriales y conservación ecosistémica.

Caudal: Medición dinámica del volumen de fluido que transita por una sección transversal en un intervalo temporal específico. Este indicador hidrológico fundamental permite

comprender los patrones de movimiento y disponibilidad de sistemas hídricos, siendo esencial para la planificación y gestión de recursos.

Demanda química de oxígeno: Parámetro analítico que cuantifica la capacidad oxidativa para descomponer materia orgánica. Representa un indicador sintético de la carga contaminante, revelando la complejidad de los procesos biogeoquímicos en sistemas acuáticos mediante una evaluación controlada de agentes oxidantes..

pH: Magnitud química que describe el grado de concentración de iones hidrógeno en un líquido, revelando el equilibrio ácido-base. Su escala de 0 a 14 no solo cuantificar la acidez, sino que interpreta las interacciones moleculares que determinan propiedades fisicoquímicas en sistemas acuosos.

Normativa legal

Marco regulatorio que articula principios jurídicos para la gestión integral de recursos hídricos. Las leyes N° 29338 y Decreto Legislativo N° 1185 establecen lineamientos para proteger, conservar y gestionar recursos hídricos superficiales, subterráneos y continentales, garantizando su calidad y preservación ecosistémica.

2.1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La calidad del agua subterránea no es apta para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025

2.1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- La concentración de los parámetros físicos-químicos del agua subterránea superan los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.
- La concentración de los parámetros microbiológicos del agua subterránea superan los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El distrito de Kelluyo, en la provincia de Chucuito de la región Puno, se configura como un punto geográfico con una singularidad altiplánica. Su ubicación georeferencial precisa se sitúa entre las coordenadas 5°44'46"S 70°03'31"O / -15.7462244, -70.0585486, a una altitud promedio de 3,847 msnm, lo que lo posiciona como un territorio de características climáticas extremas. La dinámica térmica del distrito evidencia una oscilación, con temperaturas que descienden hasta 3°C durante los meses invernales y se elevan hasta 15°C en el período de calor, configurando un promedio anual de 7°C. El régimen pluviométrico complementa este perfil, con una precipitación anual acumulada que fluctúa entre 400 y 688.33 mm, revelando la complejidad ecosistémica de este territorio andino.

Población beneficiaria: Comunidad local que utiliza los recursos hídricos subterráneos, constituyendo la población directa en la que se tiene interés en comprender y evaluar la calidad del agua.

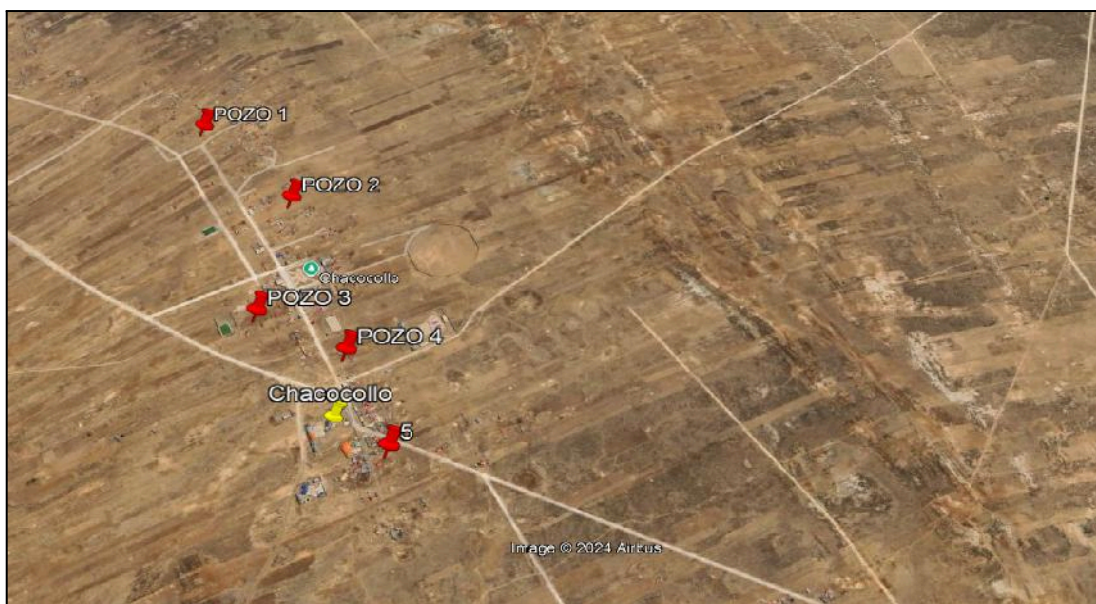


Figura 01: Ubicación del lugar de estudio, Distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo.

Fuente: Google Maps

3.2. TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 POBLACIÓN

Estará constituida por los cinco pozos subterráneos ubicados en Kelluyo, los cuales, en la actualidad, representan la totalidad de fuentes de agua subterránea destinadas al consumo humano en la zona. Dado que no existen otras fuentes subterráneas registradas, estos cinco pozos conforman el universo de análisis para la presente investigación.

3.2.2 MUESTRA

Debido a la naturaleza del estudio, se seleccionarán tres pozos como muestra, aplicando un criterio de conveniencia basado en la accesibilidad para la toma de muestras. La elección de estos pozos responde a la facilidad de acceso disponible, mientras que los otros dos no podrán ser incluidos, ya que se encuentran en propiedades privadas y no se cuenta con la autorización correspondiente para ingresar. Esta limitación metodológica es comparable con lo señalado por (Rizzo, 2004), quien destacó que "las muestras se componen de los casos disponibles a los cuales se tiene acceso". Esta restricción no

compromete la validez del estudio, ya que los tres pozos seleccionados permiten obtener datos representativos en la comunidad.

3.3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.3.1. MÉTODOS

Tipo de investigación

El estudio es descriptivo ya que se trata de ver la información sin manipulación alguna. De tipo cuantitativo porque se obtendrán datos numéricos.

Diseño de Investigación.

Se aplicó un diseño que evite la manipulación de variables, es decir, un diseño no-experimental.

3.3.3.2. MATERIALES

Equipos necesarios: a) Dispositivo GPS; b) Cámara fotográfica; c) Laptop; d) Impresora; e) Scanner; f) Cámara fotográfica; g) impresora, scanner; h) Cooler; i) Multiparametro portatil.

3.4.4. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

MUESTREO DE AGUA

Se adoptó las directrices establecidas por el MINAM, (2016) cuyo procedimiento cumple con la norma ABNT 15.847:2010, adaptada a partir de las especificaciones ASTM D 6452:1999 y ASTM D 4448:2001. El muestreo consiste en introducir cuidadosamente un frasco recolector en el pozo hasta alcanzar los 15 a 30 cm por debajo de la superficie. Durante el proceso, se evita el contacto con las paredes del pozo para prevenir contaminación cruzada y garantizar la representatividad de la muestra. Este método permite acceder a datos fiables sobre el agua subterránea y facilita su análisis en laboratorio.

Se utilizaron frascos de vidrio estériles y de boca ancha en lugar de plástico, ya que este material es más adecuado para análisis microbiológicos al minimizar el riesgo de contaminación y adsorción de compuestos. Antes del muestreo, los frascos serán sometidos a un proceso de desinfección riguroso para garantizar su esterilidad. El

volumen para la muestra será determinado en función del tipo de análisis a realizar. Antes de la recolección definitiva, se enjuaga el frasco con la misma agua de muestreo para eliminar posibles residuos externos. La segunda porción de agua extraída será la que se utilizará para los análisis. Una vez tomadas las muestras, serán transportadas al laboratorio en un cooler con control de temperatura entre 4 y 6 °C, evitando la proliferación bacteriana y procesos de degradación. Para su protección, se colocarán entre los frascos separadores acolchonados o bolsas de burbujas, minimizando el riesgo de rotura accidental. Además, se realizará un registro detallado en una hoja de custodia, asegurando la trazabilidad e identificación precisa de cada muestra desde su recolección hasta su análisis.

Metodología para el objetivo específico O1:

Evaluar los parámetros físicoquímicos

La evaluación de los parámetros físico-químicos en aguas subterráneas destinadas al consumo humano se llevó a cabo en el mismo momento de la recolección de muestras en los pozos, utilizando un equipo multiparámetro. Este procedimiento garantizará una medición precisa y en tiempo real.

Determinación de Sólidos Suspendidos Totales (S.S.T.)

Se implementó un proceso meticuloso que asegure la fiabilidad de los resultados. Inicialmente, las membranas filtrantes serán sometidas a un lavado exhaustivo para eliminar cualquier partícula residual. Luego, se colocarán en un horno a una temperatura constante de 104 °C durante 30 minutos. Finalizado este proceso, las membranas serán extraídas y depositadas en un desecador.

Posteriormente, se procedió a su pesaje, repitiendo esta operación varias veces hasta alcanzar una masa estable y constante. Para garantizar la precisión del análisis, se utilizarán filtros adecuados y calibrados específicamente para este procedimiento, evitando interferencias en la medición de los sólidos suspendidos.

Cálculos:

$$TSS \text{ mg/L} = \frac{(\text{Peso promedio después de filtrar en g} - \text{Peso promedio antes de filtrar en g})(1000)}{\text{mg/g}}$$

Volúmen de la muestra de agua en L

Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

El proceso (DBO₅) inicia con la toma de una muestra representativa, la cual es sometida a un proceso de dilución y agitación vigorosa para garantizar su homogeneización completa. Una vez homogénea, la muestra será transferida a un vaso beaker, asegurando en todo momento que el pH se mantenga dentro del rango óptimo de 6.5 a 7.5 unidades, condición fundamental para obtener mediciones precisas.

A continuación, se prepararon cuatro botellas de Winkler, cada una correctamente identificada y rotulada, con especial atención a la fecha y hora de inicio del análisis para un adecuado seguimiento. En cada una de estas botellas se incorporará una cantidad idéntica de muestra, asegurando la uniformidad del procedimiento. Finalmente, a cada botella se añadirá una cepa bacteriana en un volumen de 2 mL, lo que permitirá el desarrollo del proceso de biodegradación necesario para la determinación de la DBO₅.

Cálculos:

$$DBO_5, \text{ mgO}_2/\text{L} = \frac{(\text{OD consumido} - \text{OD consumo cepa}) * V}{V_m}$$

Donde:

OD-consumido: Diferencia entre el oxígeno disuelto inicial (OD_i) y el residual (OD_r).

OD- consumo cepa: Se obtiene restando el oxígeno disuelto residual (OD_r) del inicial (OD_i) en la mezcla de agua de dilución con cepa.

V = Capacidad de la botella Winkler, con un promedio de 293 ml.V

m = Volumen de la alícuota de la muestra ajustado por el factor de dilución.

Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

De acuerdo con Quispe (1994), el proceso inicia al precalentar del digestor hasta una temperatura de 150 °C. Para la preparación de los blancos, se coloca 2.5 mL de agua ultrapura en un tubo digestor, seguido de 1.5 mL de solución de digestión y 3.5 mL de

ácido sulfúrico, asegurando su adición lenta a lo largo de las paredes del tubo. Posteriormente, los tubos son tapados y agitados repetidamente. Se emplean seis tubos blancos, de los cuales tres se someten al proceso de digestión y los restantes permanecen sin procesar para control. Las muestras son herméticamente selladas y agitadas dentro del digestor a 150 °C durante 2 horas. Una vez finalizado el tiempo de digestión, los tubos se retiran y enfrían en gradillas. Finalmente, el contenido de cada tubo es trasvasado cuidadosamente a matraces Erlenmeyer previamente identificados con su respectivo número de muestra o control, garantizando así la trazabilidad del procedimiento.

Cálculos:

$$DQO \text{ como } mgO_2/L = \frac{(A-B) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{mL \text{ de muestra}}$$

Donde:

A = Promedio de mililitros de FAS empleados en los blancos digeridos.

B = Mililitros de FAS utilizados en la muestra.

N = Normalidad del FAS

8 = Equivalente al peso del oxígeno.

Metodología para el objetivo específico O2:

El estudio se llevó a cabo en un laboratorio especializado en microbiología, cumpliendo con las regulaciones establecidas para estos parámetros según la normativa vigente (DIGESA. (2011)).

3.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 02: Operacionalización de variables

Variable	Dimensión	Indicador
Variable independiente Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	Físicos y	Temperatura
		STS
	químicos y microbiológicos	Potencial de hidrógeno
		DQO
		BDO
	Microbiológicos	Coliformes termotolerantes
Variable dependiente	DS .N°	Cumple con los LMP
Calidad del agua	010-2018-MINAM LMP	No cumple con los LMP

3.6. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño estadístico para las pruebas de hipótesis planteadas en la investigación, se realizaron mediante el estadístico de prueba de T de Student para una muestra (Dagnino S., 2015), donde el valor de contraste fueron los Límites Máximos Permisibles establecidos en la normatividad vigente para aguas potables. Los cálculos necesarios se presentan en la siguiente figura.

CAPÍTULO IV

EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Tabla 03: Parámetros físico-químicos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Parámetros físico-químicos	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Promedio	Límite Máximo	
					Permisible	
pH	6,55	6,59	6,75	6,63	6,5	a 8,5
Conductividad (uS/cm)	528,00	526,90	530,60	528,50	1500	
Sólidos totales disueltos (mg/L)	201,40	212,60	264,30	226,10	1000	
Cloruros (mg Cl/L)	89,97	85,96	65,97	80,63	250	
Sulfatos (mg SO ₄ /L)	121,20	118,30	105,20	114,90	250	
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	300,00	280,00	382,00	320,67	500	
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	211,50	197,40	234,00	214,30	500	
Calcio (mg Ca ⁺⁺ /L)	92,80	83,20	136,00	104,00	250	
Cloro libre (ppm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,5	
Salinidad (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	---	
Temperatura (°C)	11,30	11,50	11,40	11,40	---	

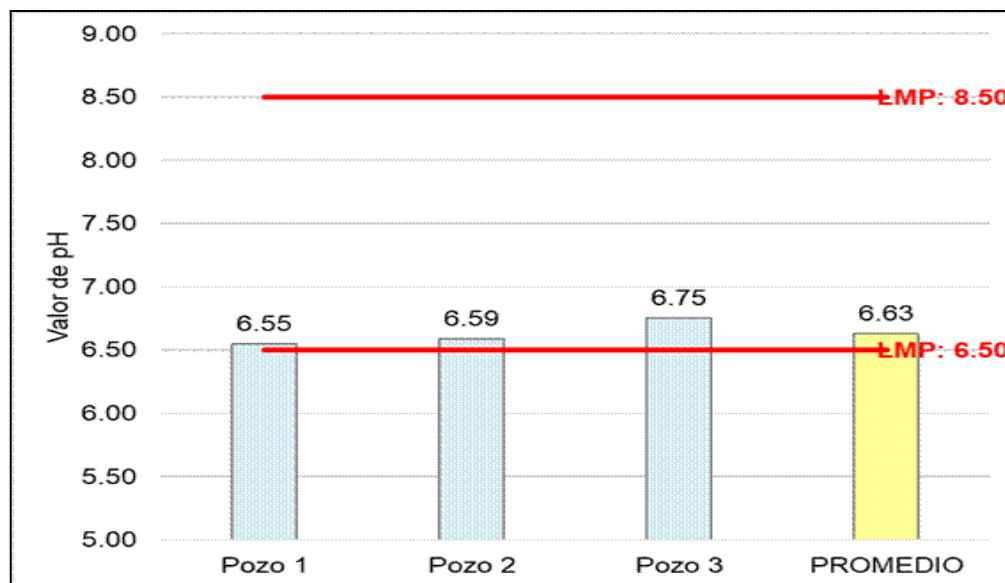


Figura 02: pH del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

De acuerdo a la figura 2 se observa que, producto de la evaluación del parámetro físico-químico pH, se obtuvo un promedio de 6,63. Este se ubica entre los límites máximos permisibles de 6,50 hasta 8,50. De tal manera que se cumple el LMP del pH del agua subterránea.

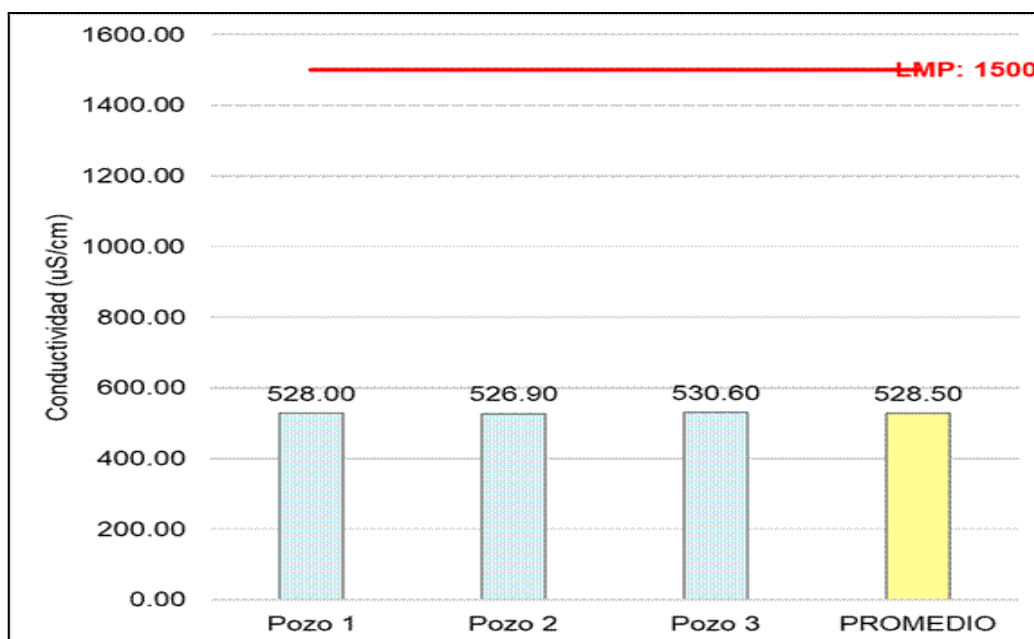


Figura 03: Conductividad del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Tal como se observa en la figura 3, de acuerdo a la evaluación del parámetro físico-químico conductividad, se obtuvo un promedio de 528,50 uS/cm. Este se encuentra por debajo del valor de 1500 uS/cm. Por lo que se cumple el LMP de la conductividad del agua subterránea.

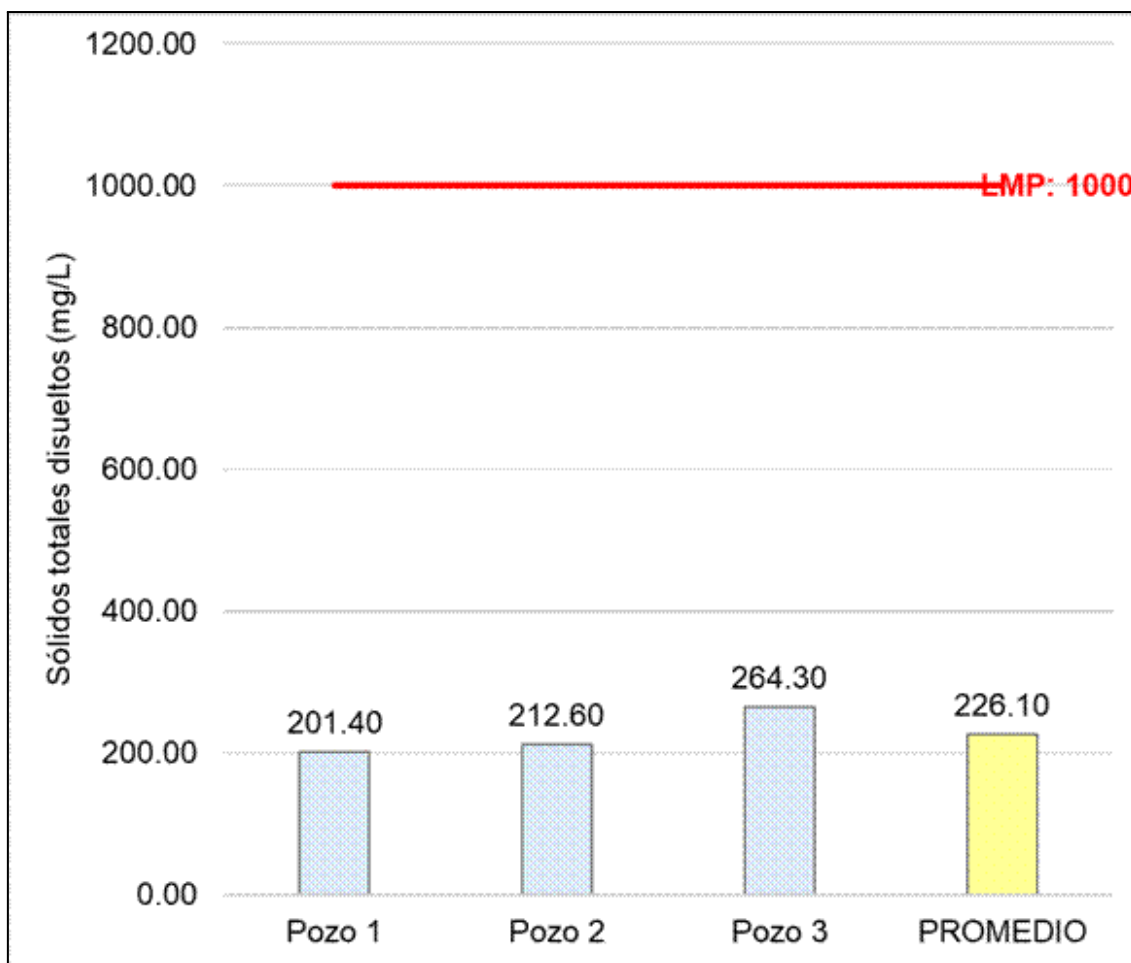


Figura 04: Sólidos totales disueltos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Según se aprecia en la figura 4, al respecto de la evaluación del parámetro físico-químico sólidos totales disueltos, hubo un promedio de 226,10 mg/L. El cual resulta inferior al límite de 1000 mg/L. Ello conlleva a indicar que se cumple el LMP de los sólidos totales disueltos del agua subterránea.

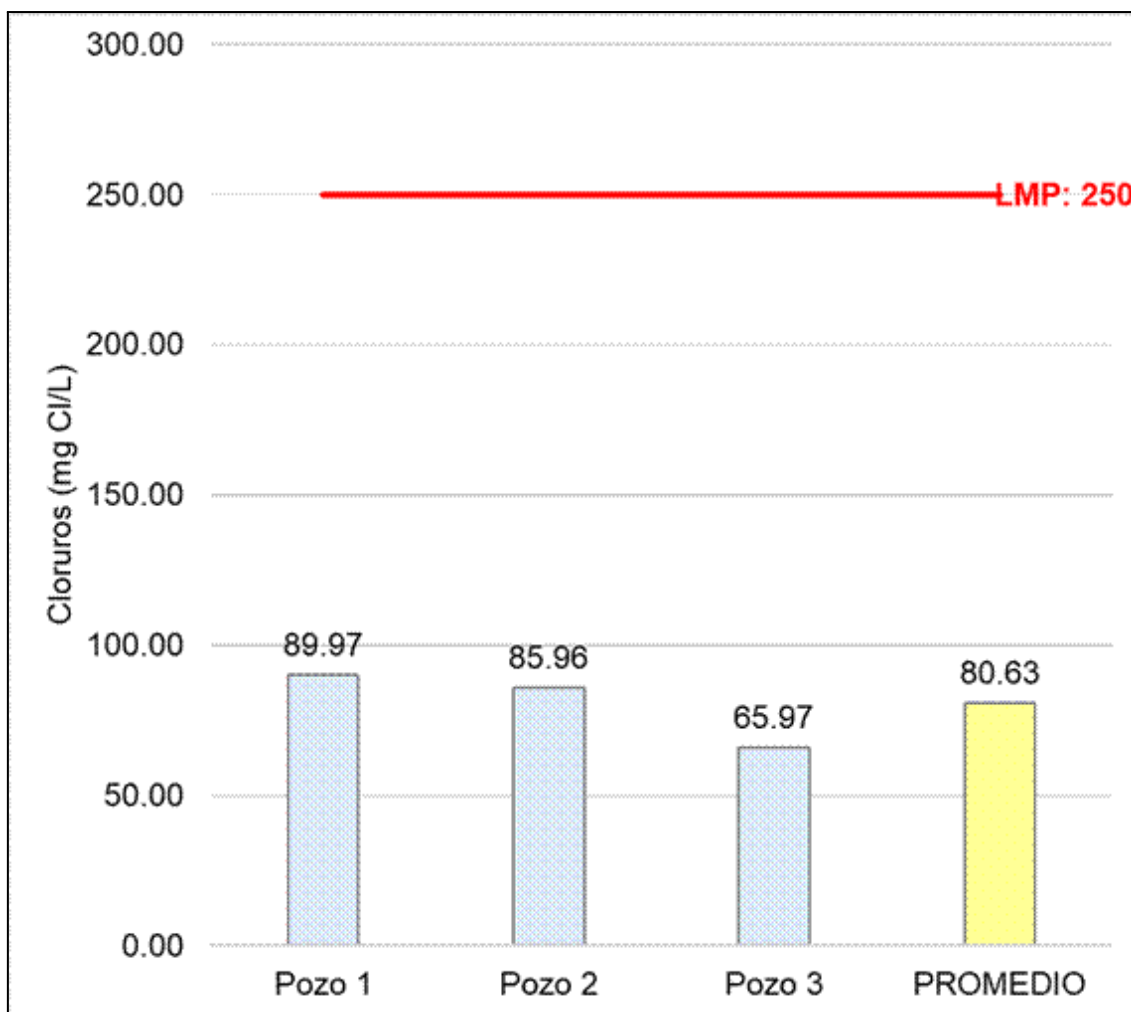


Figura 05: Cloruros del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

En la figura 5 se evidencia que, en relación a la evaluación del parámetro físico-químico cloruros, se obtuvo un valor promedio de 80,63 mg Cl/L. De tal manera que se ubica por debajo del valor de 250 mg Cl/L. De tal manera que se cumple el LMP de los cloruros del agua subterránea.

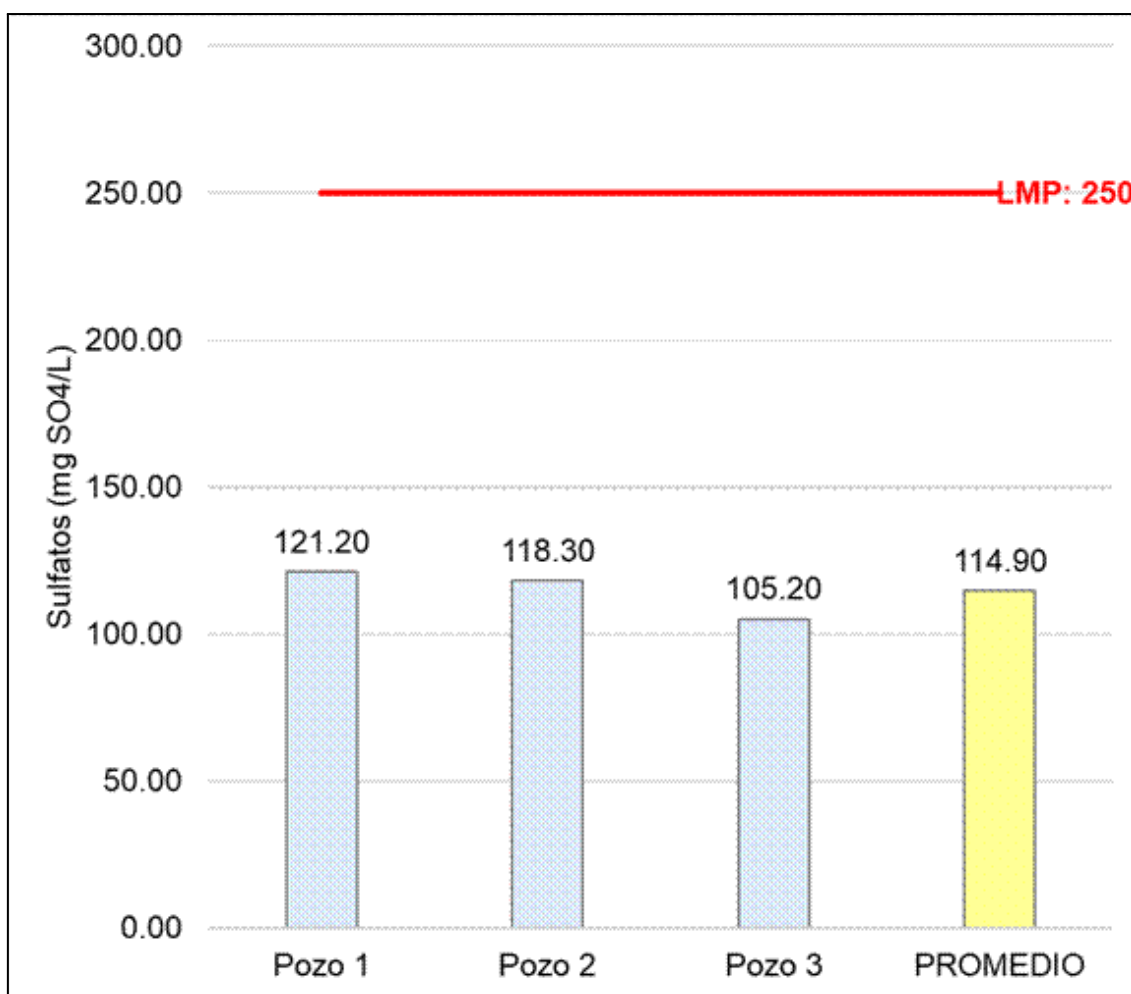


Figura 06: Sulfatos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

De acuerdo a la figura 6 se visualiza que, producto de la evaluación del parámetro físico-químico sulfatos, se obtuvo un promedio de 114,90 mg SO₄/L. Este se encuentra por debajo del límite de 250 mg SO₄/L. De tal manera que se cumple el LMP de los sulfatos del agua subterránea.

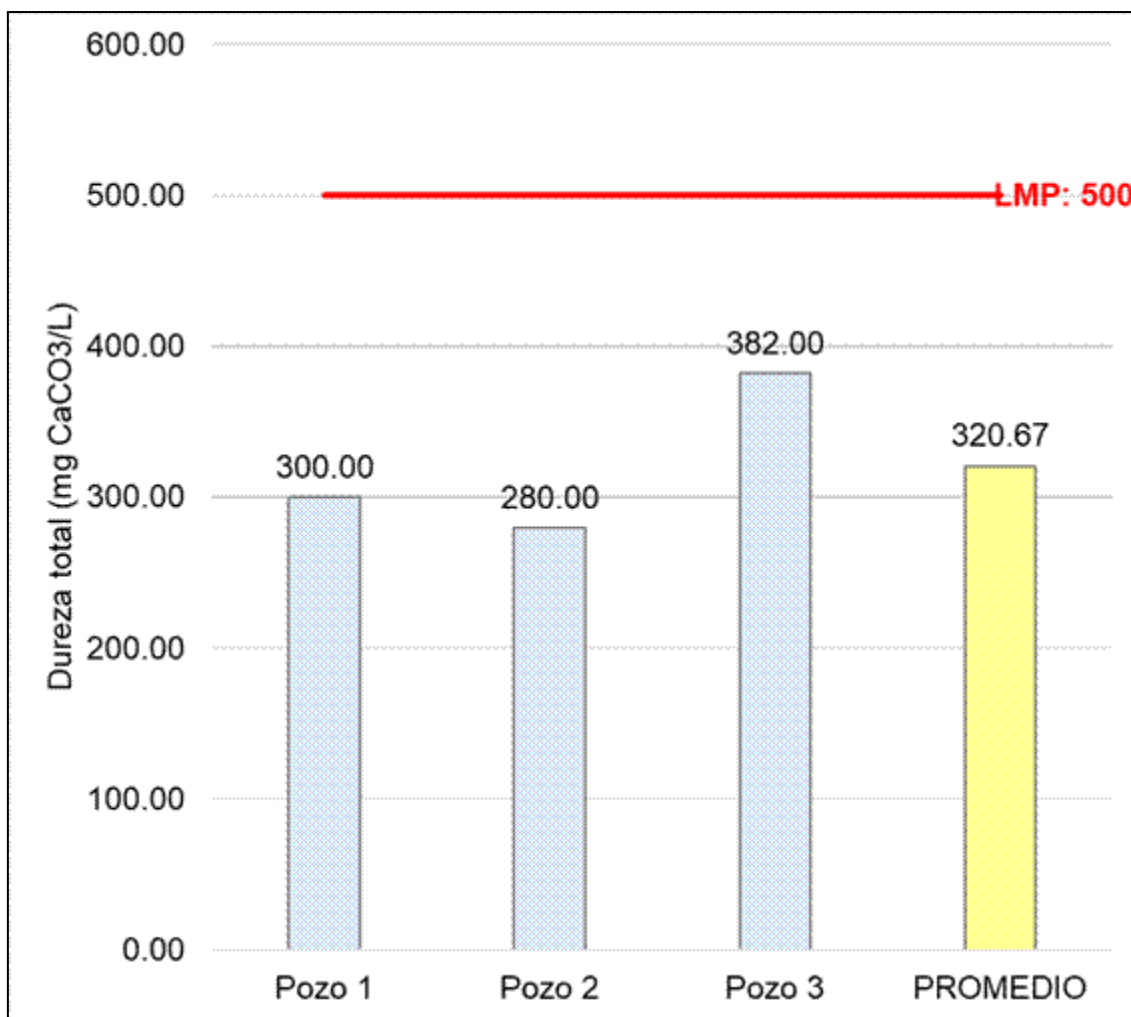


Figura 07: Dureza total del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Tal como se evidencia en la figura 7, de acuerdo a la evaluación del parámetro físico-químico dureza total, se obtuvo un promedio de 320,67 mg CaCO₃/L. Este se halla por debajo del valor de 500 mg CaCO₃/L. Por lo que se cumple el LMP de la dureza total del agua subterránea.

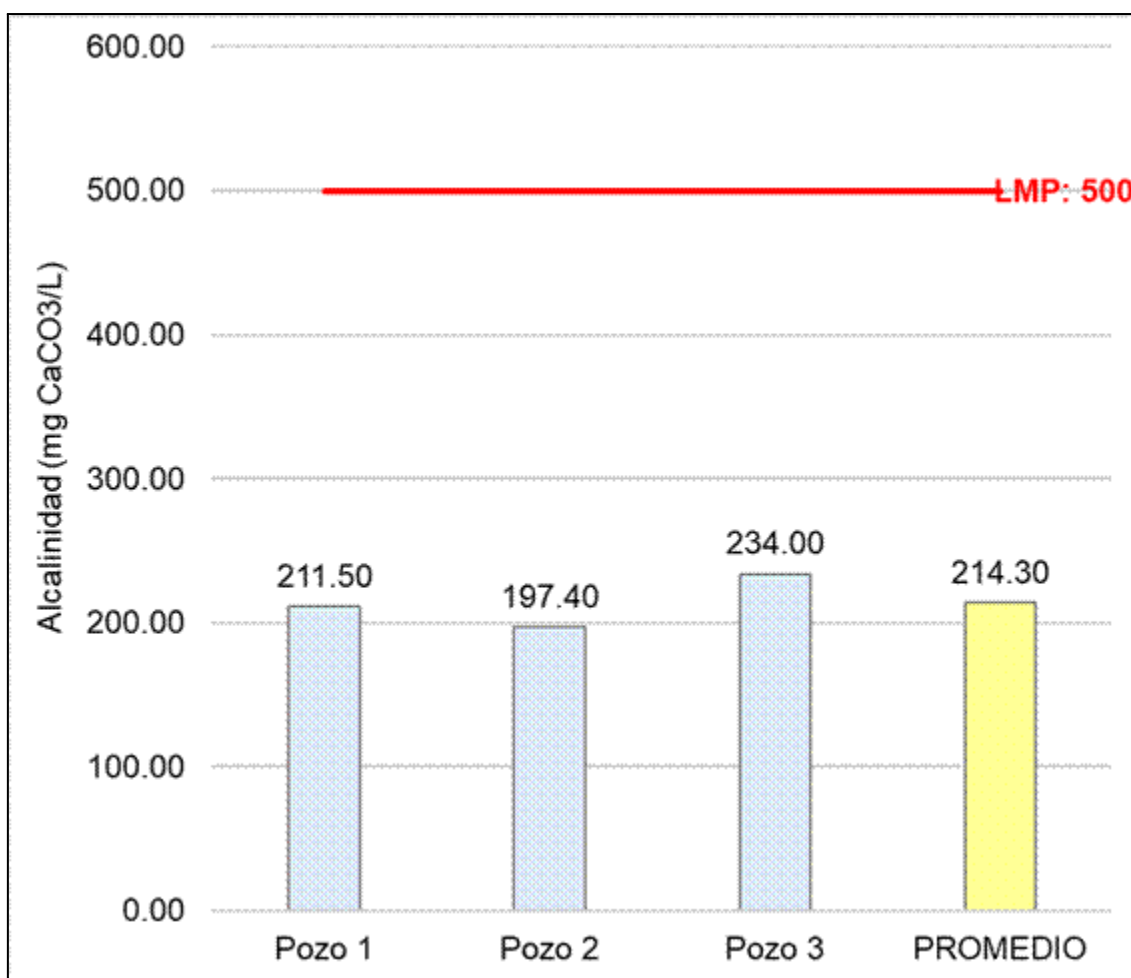


Figura 08: Alcalinidad del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Según se observa en la figura 8, en lo concerniente a la evaluación del parámetro físico-químico alcalinidad, hubo un promedio de 214,30 mg CaCO₃/L. El cual resulta inferior al límite de 500 mg CaCO₃/L. Ello conlleva a mencionar que se cumple el LMP de la alcalinidad del agua subterránea.

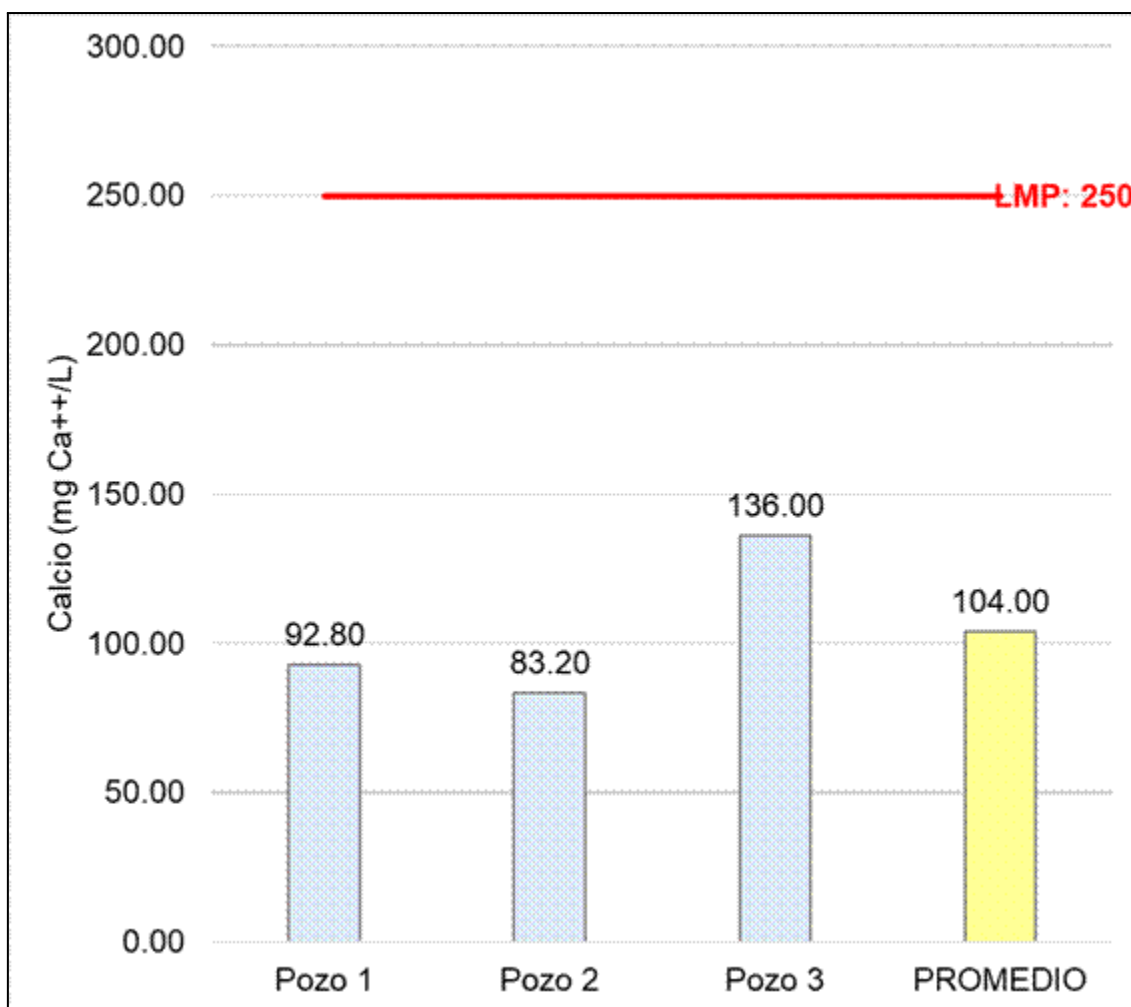


Figura 09: Calcio del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

En la figura 9, se aprecia que, en lo tocante a la evaluación del parámetro físico-químico calcio, se obtuvo un valor promedio de 104,00 mg Ca⁺⁺/L. Por lo que se ubica por debajo del valor de 250 mg Ca⁺⁺/L. Esto indica que se cumple el LMP sobre calcio del agua subterránea.

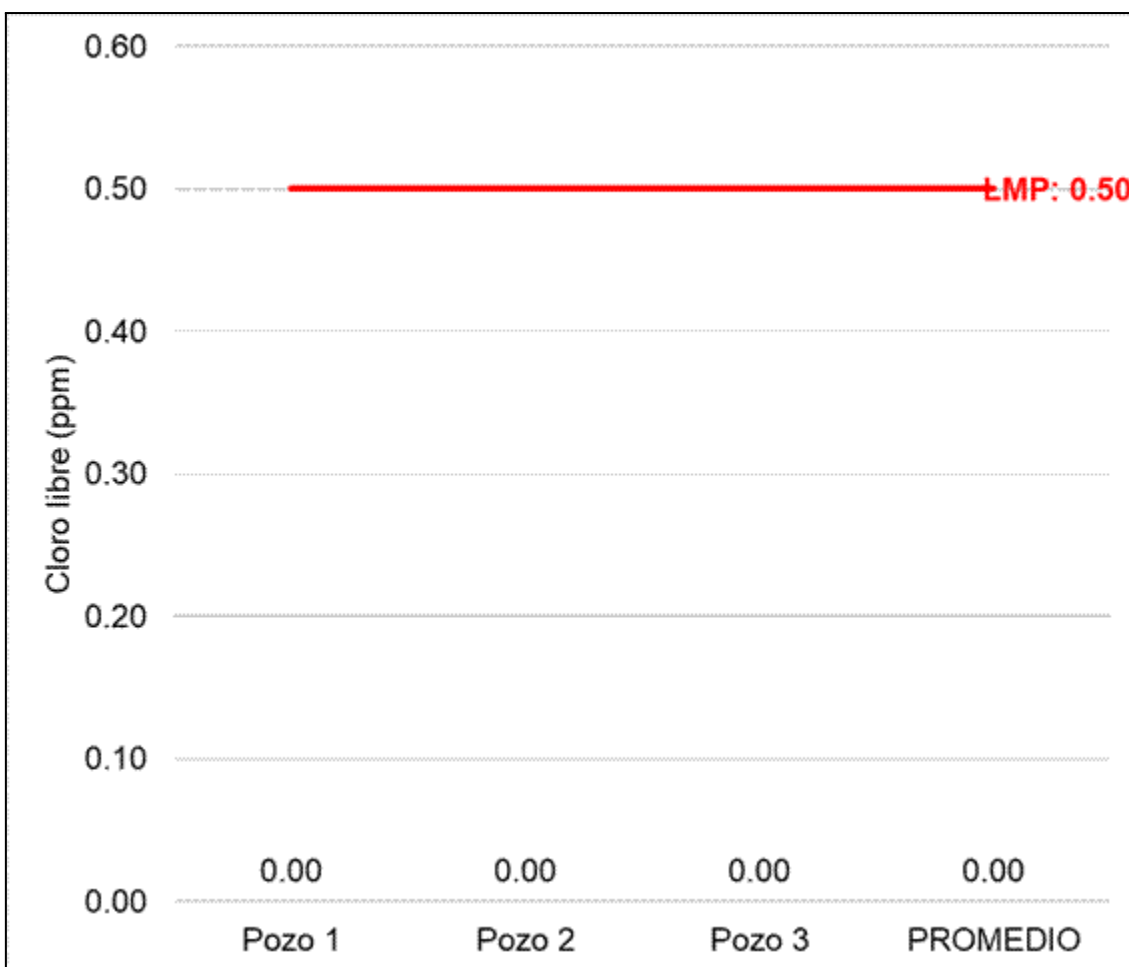


Figura 10: Cloro libre del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

De acuerdo a la figura 10, se visualiza que, producto de la evaluación del parámetro físico-químico cloro libre, se obtuvo un promedio de 0,00 ppm. Este se encuentra por debajo del límite de 0,50 ppm. De tal manera que se cumple el LMP del cloro libre del agua subterránea.

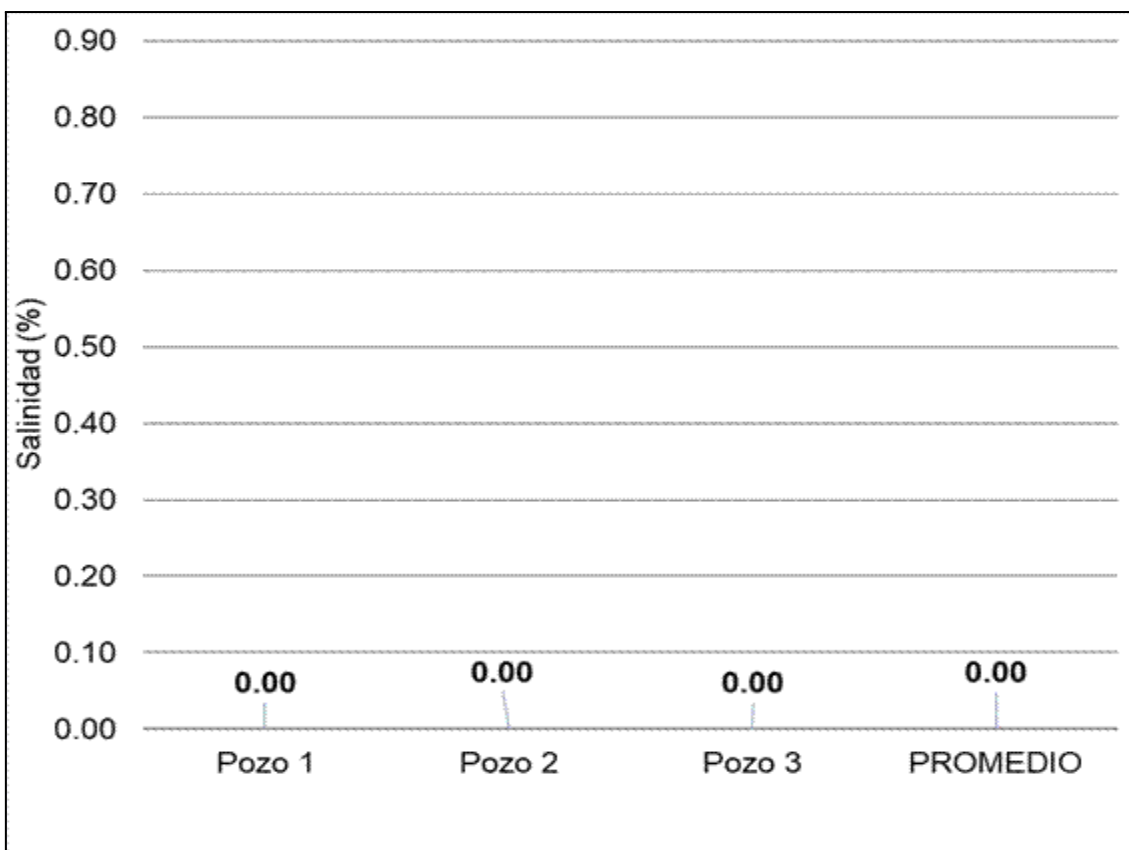


Figura 11: Salinidad del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Tal como se aprecia en la figura 11, de acuerdo a la evaluación de los 3 pozos en el distrito de Kelluyo, se obtuvo un promedio de salinidad de 0,00 % de agua subterránea.

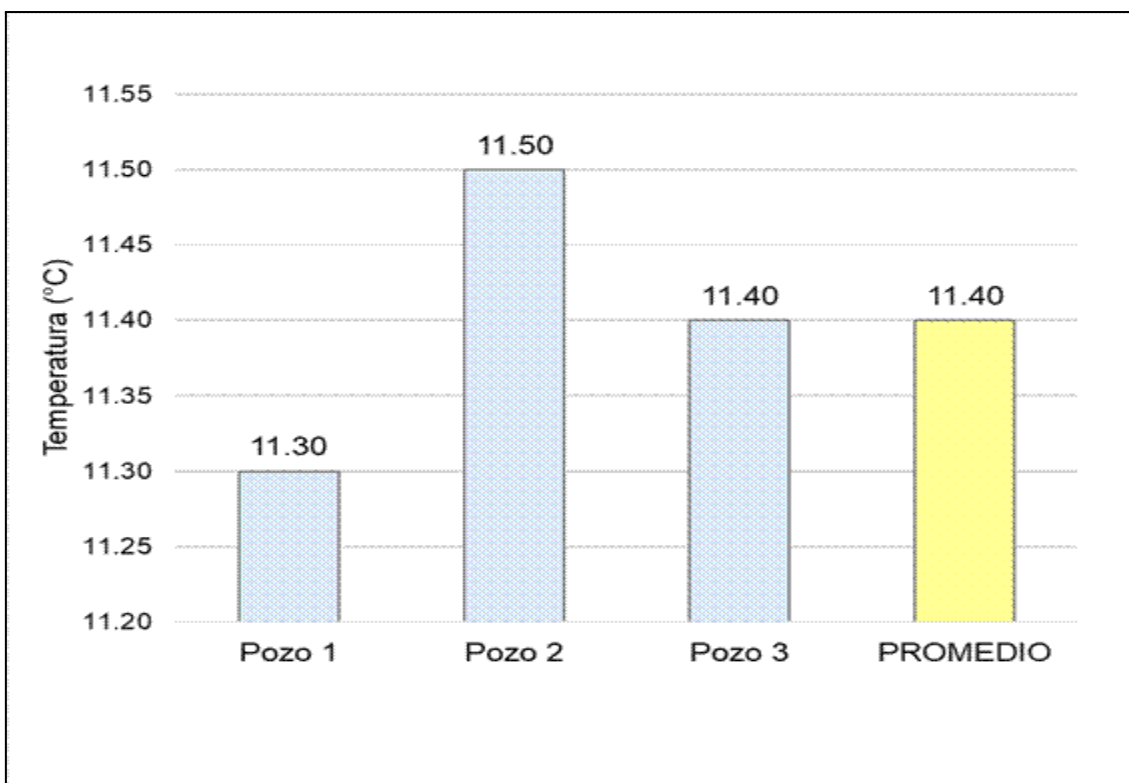


Figura 12: Temperatura del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Según se aprecia en la figura 12, producto de la evaluación de los 3 pozos en el distrito de Kelluyo, se halló promedio de temperatura de 11,40 °C de agua subterránea.

Tabla 04: Prueba de T se Student sobre los parámetros fisicoquímicos

Parámetros físico-químicos	Media	Hipótesis alterna	T calculada	T		p	Alfa
				crítica	g		
pH	6,63	Media < 6,5	2,13	-2,920	2	0,916	0,05
		Media > 8,5	-30,6	2,920	2	0,999	0,05
Conductividad (uS/cm)	528,50	Media > 1500	-886	2,920	2	1.000	0,05
Sólidos totales disueltos (mg/L)	226,10	Media > 1000	-39,9	2,920	2	1.000	0,05
Cloruros (mg Cl/L)	80,63	Media > 250	-22,8	2,920	2	0,999	0,05
Sulfatos (mg SO ₄ /L)	114,90	Media > 250	-27,4	2,920	2	0,999	0,05
Dureza total (mg CaCO ₃ /L)	320,67	Media > 500	-5,75	2,920	2	0,986	0,05
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	214,30	Media > 500	-26,8	2,920	2	0,999	0,05
Calcio (mg Ca ⁺⁺ /L)	104,00	Media > 250	-8,99	2,920	2	0,994	0,05
Cloro libre (ppm)	0,00	Media > 0,5	-Inf	2,920	2	1.00	0,05

De acuerdo a la tabla 2 se observa que, al respecto de la evaluación de los parámetros fisicoquímicos con los LMP, se obtuvo valores p por encima de 0,05 ($p > 0,05$) en lo correspondiente al pH mínimo de 6,5 ($p = 0,916$) al pH máximo de 8,5 ($p = 0,999$), a la conductividad ($p = 1,000$), los sólidos totales disueltos ($p = 1,000$), los cloruros ($p = 0,999$), los sulfatos ($p = 0,999$), la dureza total ($p = 0,986$), la alcalinidad ($p = 0,999$), el calcio ($p = 0,994$), y el cloro libre ($p = 1,000$). De tal manera que no se acepta la hipótesis alterna, y por tanto se debe indicar que la concentración de los parámetros físicos-químicos del agua subterránea no incumplen significativamente los límites

máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

Beraun & Reshea (2023), reportaron en su investigación, con sus resultados obtenidos que el pozo 1 cumple con los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares de calidad ambiental en todos los parámetros analizados, lo que lo hace apto para el consumo humano. Esta tendencia es consistente con los resultados obtenidos del laboratorio, que se realizó para la presente investigación. Además, es fundamental promover políticas de gestión del agua que aseguren su calidad y disponibilidad para la población, reduciendo el impacto en la salud pública.

Mientras que Olaya (2024), reporta que en su investigación que realizó de aguas subterráneas en la provincia de Sullana en lo que respecta a los parámetros físicos y químicos, encontraron variaciones significativas se determinó que la calidad del agua subterránea está influenciada por la profundidad de los pozos, además de que el cumplimiento de los parámetros se alinea con la categoría A3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), con variaciones en su significancia respecto (LMP) para el consumo humano.

Condori (2023), indica en su investigación que llevó a cabo un análisis de la calidad del agua en un pozo del barrio Azoguini de Puno, evaluando 12 parámetros. De estos, cinco (incluyendo color, temperatura y alcalinidad) no coincidieron con los valores de los límites máximos permitidos, por lo tanto no se tiene una coincidencia con los resultados obtenidos de la investigación ya que los resultados de la investigación comparada superan los límites máximos permitidos y determinando que el agua no es apta para consumo. Estos resultados resaltan la urgencia de implementar sistemas de purificación en áreas urbanas periféricas, debido a los riesgos sanitarios asociados con fuentes de agua sin tratamiento adecuado.

Mientras que Escobar (2024), señala que en el distrito de Vegueta halló pozos subterráneos con mala calidad de agua, siendo no apta para el consumo humano, los factores que determinan la misma es un deterioro evidente de las tapas de los pozos, que

permiten el ingreso de elementos contaminantes, además se observó procesos de lixiviación de materia orgánica y fertilizantes en los alrededores.

Finalmente en la ciudad de Puno (zona alta), Olaya (2024) reporta valores que se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normatividad vigente para agua potable, se evidencia pozos con buena cobertura y limpieza en sus alrededores, de dichos pozos la población consume dicha agua sin ningún tratamiento previo.

4.2. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Tabla 05: Parámetros microbiológicos del agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

	Pozo 1	Pozo 2	Pozo 3	Promedio	Límite Máximo Permissible
Parámetros microbiológicos					
Bacterias coliformes totales (NMP/100 ml) a 35°C)	0,3	<0,3	0,00	0,20	0,00
Bacterias coliformes termotolerantes o fecales (NMP/100 ml) a 44,5°C)	0,3	0,00	0,00	0,10	0,00

Nota. El valor de 0,30 NMP/100ml a 44,5°C es el límite máximo para bacterias coliformes totales en el agua subterránea, identificadas mediante el análisis de laboratorio (Valor <0,3)

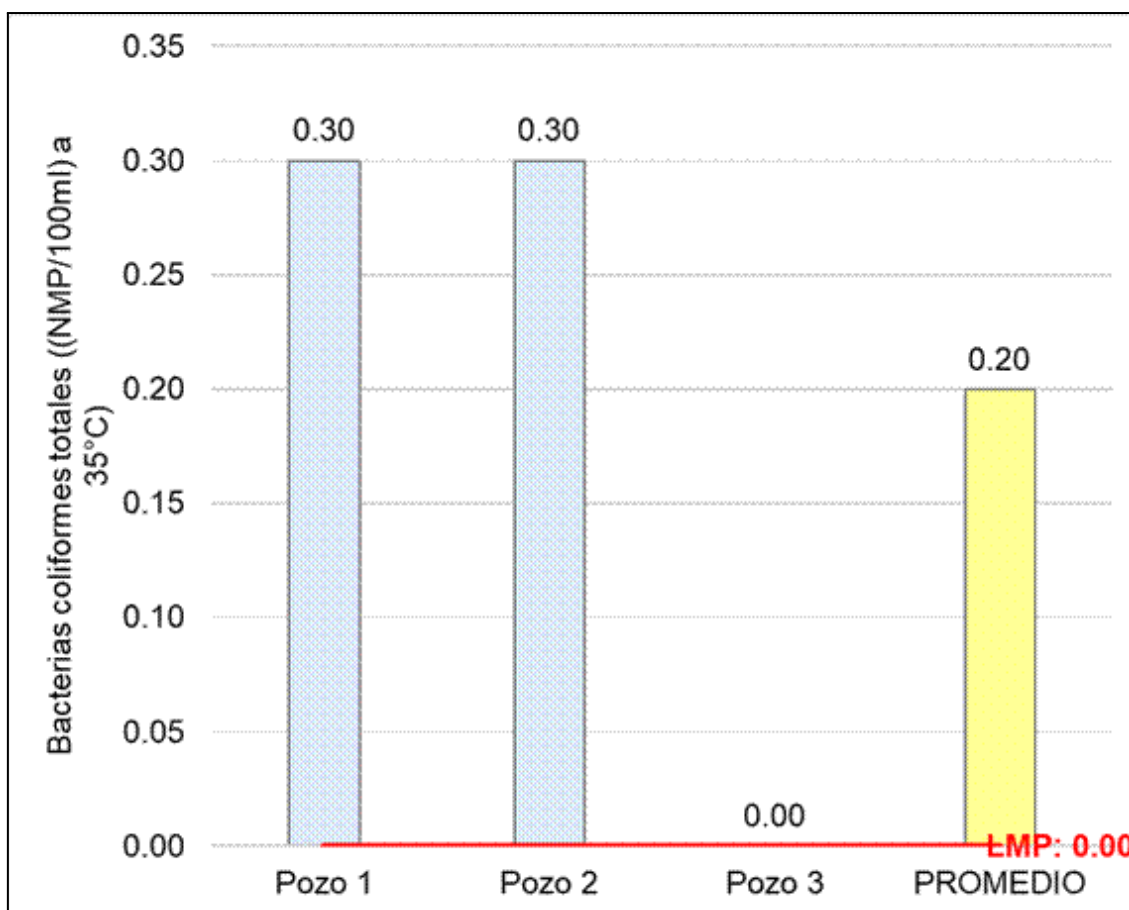


Figura 12: Bacterias coliformes totales en el agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Nota. El valor de 0,30 NMP/100 ml a 35°C es el límite de máxima cantidad de las bacterias coliformes totales en el agua subterránea, identificado mediante el análisis de laboratorio (Valor <0,3)

En la figura 12 se evidencia que, producto de la evaluación del parámetro microbiológico bacterias coliformes totales, se obtuvo un valor promedio de 0,20 NMP/100ml a 35°C. superando el valor de 0,00 NMP/100 ml a 35°C. Esto indica que incumple con el LMP para bacterias coliformes totales en el agua subterránea.

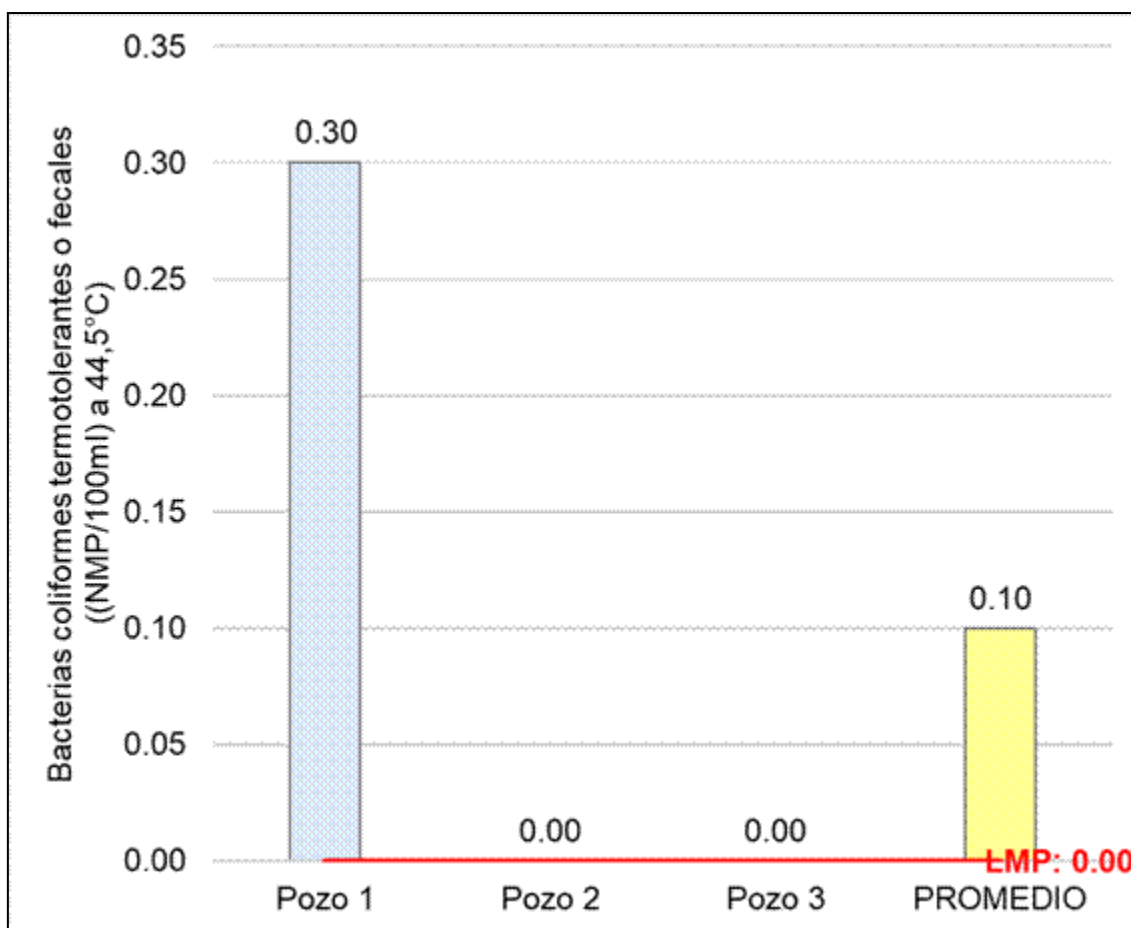


Figura 13: Bacterias coliformes termotolerantes o fecales en el agua subterránea en el distrito de Kelluyo Centro Poblado Chacocollo, 2025

Nota. El valor de 0,30 NMP/100ml a 44,5°C es la concentración de bacterias coliformes totales en el agua subterránea, identificadas mediante el análisis de laboratorio (Valor <0,3)

Conforme a la figura 13 se visualiza que, al respecto de la evaluación del parámetro microbiológico bacterias coliformes termotolerantes, se halló un valor promedio de 0,10 NMP/100ml a 44,5°C. Por lo cual es superior al valor de 0,00 NMP/100ml a 44,5°C. cuya concentración incumple el LMP para bacterias coliformes termotolerantes en el agua subterránea.

Tabla 06: Prueba de T de Student sobre los parámetros microbiológicos

		Medi	T					
		a	Hipótesis	calculad	T crítica	gl	p	Alfa
Parámetros microbiológicos			alterna	a				
Bacterias coliformes totales (NMP/100ml) a 35°C)	0,20	Media >	2,00	2,920	2	0,092	0,05	
			0,00					
Bacterias coliformes termotolerantes o fecales (NMP/100ml) a 44,5°C)	0,10	Media >	1,00	2,920	2	0,211	0,05	
			0,00					

En la tabla 3 se observa que, en lo correspondiente a la evaluación de los parámetros microbiológicos con los LMP, hubo valores p por encima de 0,05 ($p > 0,05$) al respecto de las bacterias coliformes totales ($p = 0,092$) y las bacterias coliformes termotolerantes ($p = 0,211$). Por lo cual, no se acepta la hipótesis alterna, y por tanto se debe indicar que la concentración de los parámetros microbiológicos del agua subterránea no incumple significativamente los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

Al respecto Castillo (2024), menciona en su investigación que realizó en Colombia analizaron los datos del Índice de Riesgo para la Calidad del Agua para consumo humano (IRCA), Los resultados obtenidos señalan que en los municipios con puntajes de IRCA menores a 60 existe una asociación significativa con el aumento de la incidencia de enfermedades renales en cinco de los seis períodos evaluados. Al respecto esta investigación tiene un cierto grado de comparación con la actual investigación y los resultados obtenidos. mientras que Saldaña et al. (2021), evaluaron la calidad microbiológica del agua para consumo humano en Fila Alta-Jaén-Cajamarca, mediante análisis de coliformes totales (CT), coliformes termotolerantes (CTT) y bacterias

heterotróficas (BH). sus resultados obtenidos revelaron preocupante situación de contaminación microbiológica en sistemas de agua rurales y periurbanos, evidenciando fallas en los procesos de tratamiento y distribución que representan un riesgo significativo para la salud comunitaria. Los hallazgos destacan la urgente necesidad de implementar monitoreos sistemáticos y mejorar la infraestructura sanitaria existente. En el distrito de Viru Araujo et al., (2023), menciona Sobre la presencia de bacterias heterótrofas, se evidenció que la mayor parte de los pozos excede los valores límite definidos como aptos para su consumo seguro. En conclusión, el agua extraída de los pozos subterráneos, tanto tubulares como de tajo abierto en Virú, no cumple con estándares para su consumo seguro, por lo que su uso se restringe a la agricultura y actividades recreativas, siempre que se realice un proceso de cloración previo.

4.3. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Regla de decisiones:

P-valor = $< \alpha$, se rechaza la HN (Se acepta la HA).

P-valor = $> \alpha$, se acepta la HN (Se rechaza la HA).

Indicando que la hipótesis nula está indicada con (HN) y la hipótesis alterna está indicada con (HA), donde también se indica que el nivel de significancia es $\alpha = 0.05$, con un nivel de confianza al 95%.

4.3.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.

Formulación de la hipótesis estadística

HA = La concentración de los parámetros físicos-químicos del agua subterránea incumplen significativamente los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

HN = La concentración de los parámetros físicos-químicos del agua subterránea no incumplen significativamente los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 03 y en las figuras 02 - 12, se aprecia la prueba estadística con los resultados obtenidos del laboratorio; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se ha obtenido un valor de significancia de p -valor $>$ al valor alfa 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta:

Hipótesis Nula = La concentración de los parámetros físicos-químicos del agua subterránea no incumplen significativamente los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

4.3.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.

Formulación de la hipótesis estadística

HA = La concentración de los parámetros microbiológicos del agua subterránea incumplen significativamente los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025

HN = La concentración de los parámetros microbiológicos del agua subterránea no incumplen significativamente los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

Resultado de la prueba de hipótesis

En la tabla 05 y en las figuras 12 y 13, se aprecia la prueba estadística con los resultados obtenidos del laboratorio; indicando que de acuerdo a la prueba estadística se ha obtenido un valor de significancia de p -valor $>$ al valor alfa 0.05. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna y se acepta:

Hipótesis Nula = La concentración de los parámetros microbiológicos del agua subterránea no incumplen significativamente los límites máximos permisibles (LMP) para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025.

CONCLUSIONES

Primera: La calidad del agua de los pozos subterráneos del centro poblado de Chacocollo no es apta para el consumo humano. Aunque todos los parámetros fisicoquímicos se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa vigente, la presencia de bacterias coliformes totales y termotolerantes evidencia una contaminación microbiológica que compromete su potabilidad.

Segunda: Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en el agua de los pozos destinados al consumo humano en el distrito de Kelluyo, centro poblado de Chacocollo, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, registraron valores de pH de 6.55, 6.59 y 6.75 unidades, y una temperatura promedio de 11.40 °C en los respectivos pozos evaluados, lo que permite aceptar la hipótesis nula planteada en la investigación.

Tercera: Las concentraciones de los parámetros microbiológicos con concentraciones de coliformes totales con un promedio de 0,20 NMP/100 ml en los respectivos pozos analizados, y coliformes termotolerantes con un promedio de 0,10 NMP/100 ml, en el agua subterránea destinada al consumo humano en el distrito de Kelluyo, centro poblado de Chacocollo, de acuerdo con los resultados del laboratorio se a obtenido para bacterias coliformes totales ($p = 0,092$) y para bacterias coliformes termotolerantes ($p = 0,211$).incumplen los límites máximos permisibles establecidos por la normativa, Esta condición confirma que el agua no es apta para el consumo humano, ya que hay incumplimiento en los parámetros microbiológicos lo que permite aceptar la hipótesis nula de la investigación.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: A las autoridades competentes y organizaciones comunales: Se recomienda gestionar la inclusión del distrito de Kelluyo, en particular del centro poblado de Chacocollo, en los programas de ampliación de servicios de saneamiento básico, priorizando el acceso a agua potable de calidad y segura para la población.

SEGUNDA: A la Municipalidad Distrital de Kelluyo, implementar programas de capacitación dirigidos a los pobladores, orientados al uso eficiente y responsable de los pozos de agua subterránea. Asimismo, se sugiere establecer un sistema permanente de inspección y monitoreo que permita preservar la calidad del agua y garantizar su seguridad para el consumo humano.

TERCERA: A los pobladores del centro poblado de Chacocollo, adoptar prácticas sostenibles en el uso del recurso hídrico subterráneo, considerando que su disponibilidad depende de un proceso natural de recarga que debe ser respetado y protegido para asegurar su conservación a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Apaza Campos Rolando, R. & Calsina Benique Miguel. (2014). Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de carancas y huata, puno. Revista Investigaciones Altoandinas, 16(1), 51-58.
- Araujo, M. K. G., Krugg, J. H. W., & Valles, M. N. V. (2023). CALIDAD BACTERIOLÓGICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CONSUMO HUMANO EN EL CENTRO POBLADO DE VIRÚ, DISTRITO VIRÚ, PERÚ, 2018. REBIOL, 43(1), Article 1.
- Cangalaya Miñano, Dressy Airaldi, Chambi Ramos, & Ronald Emerson. (2023). Diseño del sistema de abastecimiento de agua mediante pozo de drenaje subterráneo para la urbanización Santa Julia ubicado en el lote VD 233-III etapa-Valle Moche-Huanchaquito, Trujillo-La Libertad [universidad privada del norte]. <https://hdl.handle.net/11537/36140>
- Castillo Arteaga & Diana Maribel. (2024). Diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado en los sectores Zaraque, La Gloria y El Socorro, Localidad de Viru – La libertad [Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/16771>
- Castillo Flórez, G. A. (2024). Calidad del agua para el consumo humano y posible asociación con enfermedad renal en el departamento del Tolima [Trabajo de grado - Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86824>
- Cecilia Chibinda & María de los Ángeles. (s. f.). Characterization for physicochemical methods and evaluation of the quantitative impact of the waters of the Well the Limestone Quarry. ResearchGate. Recuperado 25 de noviembre de 2024, de https://www.researchgate.net/publication/319058171_Characterization_for_physicochemical_methods_and_evaluation_of_the_quantitative_impact_of_the_waters_of_the_Well_the_Limestone_Quarry
- Condori quispe, P. A. (2023). Evaluación de parámetros físico químico y microbiológico del agua de pozo para consumo humano en el barrio Azoguini de la Ciudad de

- Puno—2023 [Universidad Privada San Carlos].
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/629>
- DIGESA. (2010). Decreto Supremo N.º 031-2010-SA.
<https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Escobar Molina, K. Y. (2024). Concentración de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de pozos del centro poblado de Vilcachile, Ilave, 2023. [Universidad Privada San Carlos].
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/904>
- Fernández-Rodríguez, M., & Fernández-Urgellés, O. (2007). Evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. *Minería y Geología*, 23(4), Article 4.
- Huerta Vásquez, G. J. (2009). Hidrogeoquímica de Aguas Subterráneas en la Cuenca del Estero Punitaqui, IV Región [Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103322>
- Izabá-Ruiz, R., & Morales-Hernández, K. (2022). Caracterización hidrogeológica para aprovechamiento del agua subterránea con fines de riego, en El Plantel, Masaya, Nicaragua. *La Calera*, 22(39).
<https://camjol.info/index.php/CALERA/article/download/15114/17826?inline=1>
- Juan Julio Ordoñez Gálvez. (2011). CARTILLA TÉCNICA: AGUAS SUBTERRÁNEAS-ACUÍFEROS (primera).
- Liliana Vence Márquez, Massiel Rivera González, Yudis Osorio Bayter, Adriana Beatriz Castillo Sarabia. (s. f.). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. 02-07-2012, 5.
- Lossio Aricoché, M. (2012). Sistema de abastecimiento de agua potable para cuatro poblados rurales del distrito de Lancones.
- María Luisa C. de Esparza. (2010). Estudio para el Mejoramiento de la Calidad del Agua de Pozos en Zonas Rurales de Puno.

https://kipdf.com/estudio-para-el-mejoramiento-de-la-calidad-del-agua-de-pozos-en-zonas-rurales-de_5ae404437f8b9a42778b457f.html

MINAM. (2016, septiembre 1). Manual de Buenas Prácticas en la Investigación de Sitios Contaminados Muestreo de Aguas Subterráneas | SINIA. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-buenas-practicas-investigacion-sitios-contaminados-muestreo>

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 fisicoquímicos y microbiológicos [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5750>

Olaya Ato & Erika Vanessa. (2024). Evaluación de la Calidad Microbiológica y Fisicoquímica en Aguas Subterráneas de la Provincia de Sullana [Universidad Nacional de Frontera]. <https://repositorio.unf.edu.pe/handle/123456789/317>

Oscoc Medina, G. T. (2020). Determinación de la calidad de agua subterránea para consumo humano.

Quispe Yana, D. A. (2024). Evaluación de la calidad de agua subterránea para consumo humano en la comunidad Carata, distrito de Coata [Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional - UNAP]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21845>

Ramírez, E., Robles, E., Sainz, M. G., Ayala, R., & Campoy, E. (2009). Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(4), 247-255.

Rizzo, T. G. (2004). Pedagogical Introduction to Extra Dimensions (arXiv:hep-ph/0409309). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.hep-ph/0409309>

Robles Valderrama, E., Ramírez, E., Durán Díaz, Á., Martínez, M. E., & González, M. E. (2013). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Morelos, México. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(1), 19-28.

- Sagua Vilca, N. E. (2023). Pobreza desde el enfoque multidimensional en la región Puno: Un contraste con la pobreza monetaria, 2010-2019. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20292>
- Saldaña, M. L. V., Iparraguirre, N. O. C., Zúñiga, C. L. O., & Román, J. M. G. (2021). Calidad microbiológica del agua de consumo humano del sector Fila alta-Jaén, 2019. *Revista Científica Pakamuros*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.37787/vy9q9272>
- Sánchez Aroca & Solange Aynara. (2023). Calidad microbiológica del agua de consumo humano: La realidad en el Ecuador [Universidad Técnica de Ambato/ Facultad de Ciencias de Salud /Carrera de Laboratorio Clínico]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39942>
- Smith Beraun, M. C., & Reshea Pipa, M. S. (2023). Evaluación de la calidad del agua para el consumo humano en el AAHH Villa Cruz, en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas-2021 [Universidad Científica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/2324>
- Soriano Dilas, M. (2018). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea utilizada para el consumo humano en el Centro Poblado Pata Pata—2018.
- Sunass; JICA (2003). (2020, junio 26). Análisis de la calidad del agua en las empresas prestadoras del Perú 1995 – 2003. <https://www.gob.pe/institucion/sunass/informes-publicaciones/986645-calidad-del-agua>.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

Evaluación de la calidad de agua subterránea para consumo humano, distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, Puno 2025

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
¿Cuál es la calidad del agua del pozo subterráneo para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?	Evaluar la calidad del agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025	La calidad del agua supera los límites máximos permisibles (LMP) en el agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025	VI. Calidad de agua para consumo humano	LMP	Normativa de LMP DS N° 031-2010-SA.	Diseño de investigación: no experimental de tipo descriptivo longitudinal
-¿Qué parámetros físicos y químicos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (LMP) en agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?	-Evaluar los parámetros físicos según los límites máximos permisibles (LMP) en agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?	-Los parámetros físicos y químicos superan los límites máximos permisibles (LMP) en agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?		Parámetros Físico químico y microbiológico		Población muestra: pozos subterráneos
¿Qué parámetros microbiológicos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (LMP) en agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?	Examinar los parámetros microbiológicos según los límites máximos permisibles (LMP) en agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?	•Los parámetros microbiológicos superan los límites máximos permisibles (LMP) en agua subterránea para consumo humano en el distrito de Kelluyo centro poblado Chacocollo, 2025?			Análisis de Laboratorio	

Anexo 02: Certificados de análisis



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD "LCC"



Nº 000063
ORIGINAL

Certificado de Análisis

ASUNTO : ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA DE POZO 1, 2 y 3

SOLICITANTE : EDGAR CHOQUE ILLACUTIPA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO CHACOCOLLO DIT. KELLUYO - PROV. CHUCUITO
 JULI - PUNO
TESIS : "EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRANEA PARA CONSUMO HUMANO, DISTRITO DE KELLUYO CENTRO POBLADO CHACOCOLLO - PUNO, 2025"
CARRERA : INGENIERIA AMBIENTAL
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
MOTIVO : CALIDAD DE AGUA
FECHA DE MUESTREO: 14/07/2025 (POR EL INTERESADO)
FECHA DE RECEPCION: 14/07/2025
CODIGO DE MUESTRA: BCC9 - 000814

CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:
ASPECTO : Liquido
COLOR : Cristalino

RESULTADOS DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDAD DE MEDIDA	POZO-1	POZO-2	POZO-3	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	MÉTODOS DE ANÁLISIS
pH	Valor de pH	5.55	6.55	6.75	6.5 a 8.5	Potenciómetro
Conductividad	$\mu S/cm$	578.00	526.90	530.60	1500	Conductímetro
Salinidad	%	0.00	0.00	0.00	-----	Conductímetro
Sólidos totales disueltos	mg/L	201.40	212.60	264.30	1000	Conductímetro
Cloruros	$mg Cl - L^{-1}$	89.97	85.95	65.97	250	Mohr
Sulfatos	$mg SO_4 - L^{-1}$	121.20	118.30	105.20	250	Espectrofotómetro
Dureza Total	$mg CaCO_3 - L^{-1}$	300.00	280.00	382.00	500	Volumétrico
Alcalinidad	$mg CaCO_3 - L^{-1}$	211.50	197.4	234.06	500	Volumétrico
Calcio	$mg Ca^{++} - L^{-1}$	92.80	83.20	136.00	250	Volumétrico
Cloro Libre	ppm	0.00	0.00	0.00	0.5 ppm	Colorimetría
Temperatura	$^{\circ}C$	11.3	11.5	11.4	-----	Potenciómetro

Fuente: Anexo II y III del Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS 031-2010-SA

CONCLUSIÓN:
 LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL ANALISIS FÍSICO QUÍMICO Y DE CLORO LIBRE ESTA COMO NO HABIDO POR TANTO ESTAN DENTRO DE LOS MARGENES QUE INDICA LA INOCUIDAD DE AGUA POR CONSIGUIENTE LOS RESULTADOS SON CONFORMES.

FECHA DE EMISION: Puno, C.U. 25 de julio del 2025



Ing. Oswaldo Arpañalca
CIP. 160625
Analista de Laboratorio de Control de Calidad
F.I.C. - UNA - PUNO




Dr. Cecilio Donaires Flores
DECANO DE LA F.I.C.
UNA - PUNO

* El LCC-FIQ no garantiza la procedencia ni la buena práctica de toma de la muestra ya que el interesado ingresa la muestra directamente al laboratorio.
 Ciudad Universitaria Av. Floral N° 1153, RESPONSABLE DEL LCC - FIQ - Cel.: 944019993



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD "LCC"



Certificado de Análisis

Nº 000064
ORIGINAL

ASUNTO : ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA DE POZO 1, 2 y 3

SOLICITANTE : EDGAR CHOQUE ILLACUTIPA
PROCEDENCIA : CENTRO POBLADO CHACOCOLLO DIT. KELLUYO - PROV. CHUCUITO
JULI - PUNO

TESIS : "EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA SUBTERRANEA PARA CONSUMO HUMANO, DISTRITO DE KELLUYO CENTRO POBLADO CHACOCOLLO - PUNO, 2025"

CARRERA : INGENIERIA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

MOTIVO : CALIDAD DE AGUA
FECHA DE MUESTREO: 14/07/2025 (POR EL INTERESADO)

FECHA DE RECEPCION: 14/07/2025

CODIGO DE MUESTRA: B009 - 000814

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS:

ANÁLISIS	UNIDAD DE MEDIDA	P-1	P - 2	P - 3	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Bacterias Coliformes Totales	(NMP/100ml) a 35°C	< 0,3	< 0,3	0	0 (*)
Bacterias Coliformes termotolerantes o fecales	(NMP/100ml) a 44,5°C	< 0,3	0	0	0 (*)

DS 031-2010-SA Reglamento de la calidad de agua para consumo humano

NMP = Numero Mas Probable.


MÉTODOS UTILIZADOS EN LABORATORIO:

- Bacterias coliformes: UNE EN ISO 9308-1:2000.

CONCLUSIÓN:

LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL ANALISIS MICROBIOLÓGICO ESTAN FUERA DEL LOS MÁRGENES QUE INDICA LA INOCUIDAD DE AGUA POR CONSIGUIENTE LOS RESULTADOS NO SON CONFORMES

FECHA DE EMISION: Puno, C.U. 25 de julio del 2025


Ing. Oswaldo Alpasí Alca
CIP. 160625
Analista de Laboratorio de Control de Calidad
F.I.Q. - UNA - PUNO



Dr. Federico Donaires Flores
DECANO DE LA F.I.Q.
UNA - PUNO

* El LCC-FIQ no garantiza la procedencia ni la buena práctica de toma de la muestra ya que el interesado ingresa la muestra directamente al laboratorio.

Ciudad Universitaria Av. Floral Nº 1153, RESPONSABLE DEL LCC - FIQ - Cel.: 944019993

Anexo 03: Panel fotográfico



Figura 14: Toma de muestras de los pozos respectivos



Figura 15: Identificación de las muestras a analizar



Figura 16: Registrando información y rotulado



Figura 17: traslado de las muestras al laboratorio