



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**CALIDAD BACTERIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICO DE AGUA
SUBTERRÁNEA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE
CARACOTO**

TESIS

PRESENTADA POR:

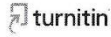
Bach. VERONICA CONDORI APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PUNO – PERÚ

2024



VERONICA CONDORI APAZA

CALIDAD BACTERIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICO DE AGUA SUBTERRÁNEA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE C...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:417230740

90 Páginas

Fecha de entrega

18 dic 2024, 11:33 a.m. GMT-5

17,174 Palabras

Fecha de descarga

18 dic 2024, 11:35 a.m. GMT-5

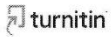
91,320 Caracteres

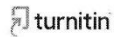
Nombre de archivo

TESIS VERONICA CONDORI APAZA REPOSITORIO 6.pdf

Tamaño de archivo

2.0 MB





16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

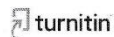
- ▶ **Caracteres reemplazados**
32 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Bigo.Mg. Diana Elizabeth Cervera Zegarra
DOCENTE
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS UNA PUNO

Dra. Yicky Cristina Gonzalez Alcos
DIRECTORA
Unidad de Investigación
FOCEB - UNA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CALIDAD BACTERIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICO DE AGUA SUBTERRÁNEA
DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE CARACOTO

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. VERONICA CONDORI APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

Dr. DANTE JONI CHOQUEHUANCA PANCLÁS

PRIMER MIEMBRO:

Dra. ROXANA DEL CARMEN MEDINA ROJAS

SEGUNDO MIEMBRO:

Dr. LUIS ANGEL PAUCAR FLORES

DIRECTOR / ASESOR:

Mg. DIANA ELIZABETH CAVERO ZEGARRA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20/12/2024

ÁREA: Ciencias Biomédicas

SUBLINEA: Diagnóstico y Epidemiología



Y^oB^o Dra. VICKY CRISTINA GONZALES ALCOS
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN-FCCBB



DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi guía, por haberme otorgado fortaleza y perseverancia, por brindarme salud, fuerza y sabiduría necesaria para concluir mis estudios universitarios.

Al culminar esta etapa de mi vida profesional, quiero dedicar este logro académico, con mucho amor y aprecio a mi pilar fundamental mis padres, Julio Víctor Condori Pinto y Julia Florentina Apaza de Condori quienes me inculcaron principios y valores, que con su esfuerzo y dedicación permitieron lograr mi meta.

A mis hermanos (as), amigos (as), por brindarme su tiempo y apoyo, quienes compartieron sus conocimientos durante el transcurso de mi carrera universitaria.

Veronica Condori Apaza



AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud a la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología, y plana de docentes, por haber impartido sus conocimientos en mi formación profesional.

A mi familia, especialmente a mis padres quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base para poder alcanzar mis objetivos.

Quiero expresar mi más sincera gratitud a mi directora de tesis Mag. Diana Elizabeth Cavero Zegarra, por su dedicación, orientación, apoyo constante, que fueron fundamental en la dirección y realización de esta investigación.

Con profunda estima y reconocimiento a mis jurados, D. Sc. Dante Joni Choquehuanca Panclas; Dr. Roxana del Carmen Medina Rojas; M.Sc. Luis Ángel Paucar Flores, cuyas observaciones, comentarios y aportes constructivos han sido fundamentales en la consolidación de este trabajo.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo.

Veronica Condori Apaza



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	19
2.2. MARCO TEÓRICO	19
2.2.1. Agua subterránea	19
2.2.1.1. Agua subterránea para consumo humano	19
2.2.1.2. Factores relacionados a la disponibilidad de agua subterránea.	21
2.2.1.3. Formas de obtención del agua subterránea	21
2.2.2. Calidad bacteriológica del agua.....	22
2.2.2.1. Indicadores de contaminación bacteriológica.....	23



2.2.3. Parámetros fisicoquímicos	26
2.2.3.1. Conductividad Eléctrica	27
2.2.3.2. Turbidez	27
2.2.3.3. Dureza total	28
2.2.3.4. Sólidos disueltos totales	28
2.2.3.5. pH.....	29
2.2.3.6. Cloruros.....	29
2.2.3.7. Sulfatos.....	30
2.2.3.8. Nitratos.....	30
2.3. MARCO CONCEPTUAL	36
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	38
3.2. DISEÑO DE ESTUDIO	38
3.3. VARIABLES DE ESTUDIO.....	39
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	39
3.4.1. Población:	39
3.4.2. Muestra	39
3.5. METODOLOGÍA	40
3.5.1. Determinación de la calidad bacteriológica de agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto.....	40
3.5.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos: conductividad, turbidez, dureza total, sólidos totales disueltos, pH, cloruros, sulfatos, nitratos, en agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto.	43



3.5.3. Análisis estadístico 45

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIDAD BACTERIOLOGICA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE CONSUMO HUMANO EN TRES SECTORES DEL DISTRITO DE CARACOTO 46

4.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS: CONDUCTIVIDAD, TURBIDEZ, DUREZA TOTAL, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS, PH, CLORUROS, SULFATOS, NITRATOS EN AGUA SUBTERRÁNEA DE CONSUMO HUMANO EN TRES SECTORES DEL DISTRITO DE CARACOTO. 52

4.2.1. Prueba de Hipótesis 71

V. CONCLUSIONES..... 73

VI. RECOMENDACIONES 75

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 76

ANEXOS..... 82

ÁREA: Ciencias Biomédicas

SUB LINEA DE INVESTIGACION: Diagnostico y Epidemiologia

FECHA DE SUSTENTACION: 20/12/2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lugares de muestreo de pozos en el distrito de Caracoto durante junio, julio, agosto del 2024.	40
Tabla 2. Contenido de coliformes totales (NMP/100 ml) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.....	46
Tabla 3. Contenido de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	49
Tabla 4. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	52
Tabla 5. Turbidez (UNT) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	54
Tabla 6. Dureza total (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	56
Tabla 7. Sólidos disueltos totales (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	59
Tabla 8. pH (unidades) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	61
Tabla 9. Cloruros (mg/L) en agua subterránea de consumo humano Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	64
Tabla 10. Sulfatos (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	66



Tabla 11. Nitratos (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.	69
Tabla 12. Prueba de hipótesis según parámetro del agua, contrastado contra el valor de referencia según norma técnica.....	71



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Comparaciones con pruebas de tukey para coliformes totales (NMP/100 ML) en agua subterránea de consumo humano.	47
Figura 2. Comparaciones con prueba de Tukey para coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) en agua subterránea de consumo humano.....	50
Figura 3. Comparaciones con prueba Tukey para conductividad eléctrica en agua subterránea de consumo humano.....	53
Figura 4. Comparaciones con la prueba de Tukey para turbidez en agua subterránea de consumo humano.....	55
Figura 5. Comparaciones con prueba de Tukey para dureza total en agua subterránea de consumo humano.	57
Figura 6. Comparaciones con prueba de Tukey para solidos disueltos totales en agua subterránea de consumo humano.....	60
Figura 7. Comparaciones con prueba de Tukey para pH en agua subterránea de consumo humano.....	62
Figura 8. Comparaciones con prueba de Tukey para cloruros en agua subterránea de consumo humano.....	65
Figura 9. Comparaciones con prueba de Tukey para sulfatos en agua subterránea de consumo humano.....	67
Figura 10. Comparaciones con prueba de Tukey para nitratos en agua subterránea de consumo humano.....	70



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Matriz básica de datos	82
ANEXO 2 Análisis de varianza.....	82
ANEXO 3 Norma técnica (Decreto supremo MINSA).....	85
ANEXO 4 Constancia de ejecución de la investigación	87
ANEXO 5 Panel fotográfico	88



ACRÓNIMOS

μS:	Microsiemens
Mg/l:	Miligramos por litro
ml:	Mililitros
L:	Litro
cm:	Centímetro
NMP:	Número más probable
pH:	Potencial de Hidrogeniones
UFC:	Unidades Formadoras de Colonias.
UNT:	Unidades Nefelométricas.
CE:	Conductividad Eléctrica
STD:	Sólidos Totales Disueltos
NOM:	Norma Oficial Mexicana
NC:	Norma Cubana
NOM:	Norma Oficial Mexicana
NC:	Norma Cubana
OMS:	Organización Mundial de Salud
LMP:	Límite Máximo Permisible
DS:	Decreto Supremo
ICA:	Índice de Calidad del Agua
NP:	Norma Paraguay
MINAN:	Ministerio del Ambiente
MIRH:	Manejo Integrado de Recursos Hídricos
EPA:	Agencia de Protección de Estados Unidos



RESUMEN

La calidad del agua destinada al consumo humano debe ser objeto de evaluación continua, cuando su procedencia es subterránea. El objetivo fue determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto. La calidad bacteriológica, se determinó mediante la técnica del número más probable (NMP) y los parámetros fisicoquímicos: conductividad, turbidez, dureza total, sólidos totales disueltos, pH, cloruros, sulfatos, nitratos, conforme a la Norma Técnica Peruana (2012), Manual de Análisis de Agua HACH (2000), siendo interpretados de acuerdo al D.S.031-2010.SA. los resultados mostraron una alta concentración en los sectores de Suches, Pucara y Chujura de coliformes totales de 33.33, 141.67 y 167.76 NMP/100 ml, y termotolerantes de 5.67, 43.00, 53.00 NMP/100 ml, superando los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento D.S. 031-2010 DIGESA; se registraron los siguientes parámetros fisicoquímicos: conductividad de 1229.67, 573.67, 954.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$; turbidez de 1.53, 1.75 y 2.53 UNT; dureza de 206.67, 315.00, 962.00 mg/L; sólidos totales disueltos de 671.67, 562.67, 820.67 mg/L; pH de 8.23, 7.70, 7.27 unidades; cloruros de 23.05, 147.55, 372.21 mg/L; sulfatos de 94.67, 121.67, 227.00 mg/L; nitratos de 2.17, 2.13, 26.33 mg/L. Se concluye que la calidad bacteriológica del agua en los tres sectores del distrito de Caracoto, superó los límites máximos permisibles. La mayoría de los parámetros fisicoquímicos se encuentran dentro de los valores normales, con la excepción de la dureza, cloruros y sulfatos que superan los límites máximos permisibles en el sector de Chujura.

Palabras clave: Agua, Calidad bacteriológica, Coliformes fecales, Coliformes totales, Parámetros físico-químicos.



ABSTRACT

The quality of water intended for human consumption must be subject to continuous evaluation when its origin is underground. The objective was to determine the bacteriological and physicochemical quality of groundwater for human consumption in three sectors of the Caracoto district. The bacteriological quality was determined using the most probable number (MPN) technique and the physicochemical parameters: conductivity, turbidity, total hardness, total dissolved solids, pH, chlorides, sulfates, nitrates, according to the Peruvian Technical Standard (2012), HACH Water Analysis Manual (2000), being interpreted according to D.S.031-2010.SA. the results showed a high concentration in the Suches, Pucara and Chujura sectors of total coliforms of 33.33, 141.67 and 167.76 NMP / 100 ml, and thermotolerant of 5.67, 43.00, 53.00 NMP / 100 ml, exceeding the maximum permissible limits established in Regulation D.S. 031-2010 DIGESA; the following physicochemical parameters were recorded: conductivity of 1229.67, 573.67, 954.67 $\mu\text{S} / \text{cm}$; turbidity of 1.53, 1.75 and 2.53 UNT; hardness of 206.67, 315.00, 962.00 mg / L; Total dissolved solids of 671.67, 562.67, 820.67 mg/L; pH of 8.23, 7.70, 7.27 units; chlorides of 23.05, 147.55, 372.21 mg/L; sulfates of 94.67, 121.67, 227.00 mg/L; nitrates of 2.17, 2.13, 26.33 mg/L. It is concluded that the bacteriological quality of the water in the three sectors of the Caracoto district exceeded the maximum permissible limits. Most of the physicochemical parameters are within normal values, with the exception of hardness, chlorides and sulfates that exceed the maximum permissible limits in the Chujura sector.

Keywords: Water, bacteriological quality, Fecal coliforms, Total coliforms, Physicochemical parameters.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación hídrica constituye un gran desafío en la salud pública, el constante incremento de la población hace que el agua subterránea como pozos sea un recurso en lugares urbanos y rurales. La calidad del agua se ve afectada por muchos factores, tanto naturales como relacionados con las actividades humanas, cumplir con estos estándares de calidad incluye probar y medir las concentraciones de contaminantes fisicoquímicos y biológicos (Arroyo, 2015).

Perú carece de servicios de agua potable y saneamiento básico, es así, en las zonas urbanas como rurales, las familias se ven obligadas a construir pozos subterráneos que muchas veces no cuenta con los estándares de calidad sanitaria. Dada la escasez de agua potable, las poblaciones obtienen este compuesto de fuentes subterráneas para su consumo y otras actividades.

La mala calidad bacteriológica del agua subterránea es un riesgo epidemiológico causando la producción de enfermedades diarreicas infantil, debido al mal manejo de desechos (Mamani, 2019). Existen factores fisicoquímicos, ambientales y saneamiento deficiente relacionados a la contaminación del agua de pozos como la mala manipulación de excretas de humanos y animales (Curo, 2015). Así mismo, los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos que exceden los límites permisibles no son aptas para el consumo humano (Martinez, 2017).

En la actualidad la calidad de agua subterránea para fines de consumo humano se desconoce, gran parte de la población no cuenta con suministro de agua potable y las familias deben consumir agua de pozos manuales y artesanales no tratados. Además, estos



estudios son raros, a menudo mal diseñados para evaluar la calidad del agua y la salud (Salas et al., 2020).

El acceso al agua potable es una dificultad latente en el distrito de Caracoto, el abastecimiento de agua para el consumo humano proviene de pozos, siendo consumidos directamente sin ningún tipo de tratamiento, las prácticas higiénicas inadecuadas en el uso del agua y disposición de excretas. Según la Organización Mundial de Salud (OMS) la calidad del agua no puede exceder los niveles aceptables: físicos, químicos, microbiológicos, toxicológicos y radioactivos (OMS, 2011). Así mismo, Chulluncuy, (2015) indica que el agua debe estar libre de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas y cumplir con las normas bacteriológicas y fisicoquímicas para su consumo.

Desde el punto de vista práctico, la investigación contribuirá en la prevención de consecuencias que puede ocasionar el consumo de aguas contaminadas causando enfermedades y problemas en la salud pública de la población e implementación de medidas para mejorar la calidad y seguridad del agua.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la calidad bacteriológica de agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos: conductividad, turbidez, dureza total, sólidos totales disueltos, pH, cloruros, sulfatos, nitratos en agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Agua subterránea

Las aguas subterráneas constituyen una de las principales fuentes de agua dulce para el consumo humano a nivel global. Este recurso hídrico se encuentra almacenado en acuíferos, formaciones geológicas que permiten el almacenamiento y la transmisión de agua bajo la superficie terrestre. La importancia de las aguas subterráneas radica en su disponibilidad continua y su relativa protección de la contaminación superficial. No obstante, la calidad y cantidad de este recurso pueden verse afectadas por diversas actividades humanas y condiciones naturales, lo que subraya la necesidad de un manejo sostenible y una vigilancia constante (Quispe, 1994).

Las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran bajo la superficie terrestre, almacenadas en los poros y fisuras de los suelos y rocas. Estas aguas se originan principalmente por la infiltración de agua de lluvia y la percolación a través del suelo, alimentando los acuíferos. Los acuíferos pueden clasificarse en varios tipos, como acuíferos libres, confinados, y semiconfinados, dependiendo de sus características geológicas y del grado de confinamiento del agua (MINAM, 2018).

2.2.1.1. Agua subterránea para consumo humano

El agua subterránea es esencial para el abastecimiento de agua potable, especialmente en regiones donde las fuentes superficiales son



escasas, estacionales o contaminadas. En muchos lugares, representa la única fuente de agua potable durante todo el año. Su uso es crucial para satisfacer las necesidades domésticas, agrícolas e industriales, además de ser vital para la sostenibilidad de los ecosistemas naturales (Oscoco, 2019).

Las aguas subterráneas, al estar protegidas de la evaporación y de la contaminación superficial directa, suelen tener una calidad superior en comparación con las aguas superficiales. Además, su extracción generalmente requiere menos tratamiento, lo que las convierte en una opción más económica y segura para el consumo humano (Robles et al., 2013).

La calidad de las aguas subterráneas es un factor determinante para su uso en el consumo humano. Los parámetros de calidad del agua incluyen propiedades físicas (como turbidez y temperatura), químicas (como la concentración de minerales, pH, y presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos) y microbiológicas (como la presencia de bacterias coliformes y otros patógenos). La contaminación del agua subterránea puede provenir de diversas fuentes, como filtraciones de aguas residuales, productos químicos agrícolas (fertilizantes y pesticidas), desechos industriales, y derrames de hidrocarburos (Chibinda et al., 2017).

Es fundamental monitorear regularmente la calidad del agua subterránea, ya que la exposición prolongada a contaminantes puede tener efectos adversos graves para la salud humana, incluyendo enfermedades gastrointestinales, trastornos neurológicos y daños a órganos vitales (SUNASS, 2003).



2.2.1.2. Factores relacionados a la disponibilidad de agua subterránea

Varios factores naturales y antropogénicos pueden afectar la disponibilidad y calidad de las aguas subterráneas (Robles et al., 2013):

Condiciones Climáticas: Las variaciones en las precipitaciones afectan la recarga de los acuíferos. Las sequías prolongadas pueden reducir significativamente la disponibilidad de agua subterránea.

Características Geológicas: La permeabilidad y la porosidad de los materiales geológicos determinan la capacidad de almacenamiento y transmisión del agua. Las formaciones de roca sólida, por ejemplo, tienen menos capacidad de almacenamiento que los materiales sueltos como la arena y la grava.

Actividades Humanas: La urbanización, la agricultura intensiva y la industrialización aumentan la demanda de agua subterránea y, a su vez, contribuyen a su contaminación. La extracción excesiva puede causar el agotamiento de los acuíferos y la intrusión de agua salina en áreas costeras.

Gestión Inadecuada: La falta de políticas de gestión sostenibles y de infraestructura adecuada para el monitoreo y tratamiento del agua subterránea puede exacerbar la degradación del recurso.

2.2.1.3. Formas de obtención del agua subterránea

Para asegurar un suministro sostenible de aguas subterráneas de calidad adecuada para el consumo humano, es necesario implementar técnicas de explotación y conservación adecuadas (Sonora et al., 2017):



Perforación de Pozos: La técnica de extracción más común involucra la perforación de pozos profundos que alcanzan los acuíferos subterráneos. Es crucial que estos pozos sean construidos y mantenidos adecuadamente para prevenir la contaminación.

Recarga Artificial de Acuíferos: Esta técnica involucra la introducción de agua tratada o de lluvia a los acuíferos para reponer los niveles de agua subterránea. Es particularmente útil en áreas con sobreexplotación.

Protección de Zonas de Recarga: Limitar el uso de pesticidas y fertilizantes y controlar la construcción en zonas de recarga puede reducir el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

Manejo Integrado de Recursos Hídricos (MIRH): Promueve un enfoque holístico para la gestión del agua, integrando tanto las aguas superficiales como las subterráneas, y considerando las necesidades ambientales y humanas.

2.2.2. Calidad bacteriológica del agua

La calidad bacteriológica del agua es un aspecto crítico en la evaluación de la potabilidad del agua para el consumo humano. La presencia de microorganismos patógenos en el agua puede tener graves consecuencias para la salud pública, por lo que su monitoreo y control son fundamentales. Entre los indicadores más comúnmente utilizados para evaluar la contaminación bacteriológica del agua están los coliformes totales y los coliformes fecales. Estos indicadores proporcionan una medida indirecta de la posible presencia de



patógenos en el agua y son esenciales para garantizar la seguridad del suministro de agua potable (Collazo, 2015).

La calidad bacteriológica del agua destinada al consumo humano abarca indicadores que permiten detectar la contaminación fecal y ofrecen una noción sobre la posible presencia de agentes patógenos que podrían comprometer la salud pública. En este contexto, el recuento de bacterias heterótrofas y la presencia de coliformes totales proporcionan información sobre la calidad del agua. Asimismo, *Escherichia coli* y enterococos son considerados indicadores de contaminación fecal (Tarqui et al., 2016).

Estos microorganismos pueden entrar en las fuentes de agua a través de diversas vías, como la escorrentía superficial, las aguas residuales sin tratar, y la infiltración de contaminantes desde pozos sépticos. Para evaluar la calidad bacteriológica del agua, se utilizan indicadores específicos que pueden señalar la presencia de contaminación fecal, la principal fuente de patógenos entéricos (Calsín, 2016).

2.2.2.1. Indicadores de contaminación bacteriológica

Los coliformes totales son un grupo de bacterias que se encuentran comúnmente en el medio ambiente, incluyendo el suelo, la vegetación y las aguas superficiales. Pertenecen a la familia Enterobacteriaceae e incluyen géneros como *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, y *Citrobacter*. La detección de coliformes totales en el agua indica que el agua puede haber estado expuesta a contaminación ambiental o a contaminación fecal, aunque no necesariamente implica la presencia de patógenos. Sin embargo, su presencia puede señalar fallas en el sistema de



tratamiento de agua o la entrada de contaminación externa (Valderrama et al., 2010).

Los coliformes termotolerantes, un subgrupo de los coliformes totales, son bacterias que se encuentran específicamente en el intestino de los animales de sangre caliente, incluidos los humanos. La presencia de coliformes termotolerantes, como *E. coli*, en el agua es un indicador más específico de contaminación fecal reciente y, por lo tanto, de un mayor riesgo de presencia de otros patógenos fecales. La detección de coliformes fecales es crucial, ya que están directamente asociados con la contaminación fecal y, por ende, con la posibilidad de enfermedades de transmisión hídrica, como diarreas infecciosas, cólera y fiebre tifoidea (Legua et al., 2016).

El monitoreo regular de los niveles de coliformes totales y fecales es fundamental para asegurar que el agua sea segura para el consumo humano. Las guías internacionales, como las de la OMS y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), establecen límites máximos permisibles para estos indicadores en diferentes tipos de agua (potable, recreativa, etc.). El incumplimiento de estos estándares puede dar lugar a la adopción de medidas correctivas, como la mejora del tratamiento del agua o la identificación y eliminación de fuentes de contaminación (Díaz et al., 2011).

Existen varios métodos para la detección y enumeración de coliformes totales y fecales en el agua, cada uno con diferentes niveles de sensibilidad, especificidad y complejidad técnica:



Técnica del Número Más Probable (NMP): Este método utiliza una serie de diluciones del agua de muestra en medios de cultivo específicos para detectar la presencia de coliformes. Los resultados se interpretan estadísticamente para estimar el número más probable de bacterias presentes en la muestra (Alcívar et al., 2017).

Filtración por Membrana: Este método implica la filtración de un volumen de muestra de agua a través de un filtro de membrana que retiene las bacterias. El filtro se coloca posteriormente en un medio de cultivo selectivo que favorece el crecimiento de coliformes. Las colonias que crecen en el medio se cuentan para determinar la concentración de coliformes en la muestra (Ortíz, 2015).

Ensayo de Enzimas Fluorescentes (Colilert): Utiliza sustratos cromogénicos y fluorogénicos que son metabolizados por enzimas específicas de los coliformes totales y fecales, produciendo un cambio de color o fluorescencia. Este método es rápido y permite una detección simultánea de coliformes totales y E. coli (Ramírez et al., 2009).

Diversos factores pueden influir en la presencia y concentración de coliformes en el agua:

Condiciones Ambientales: Las lluvias intensas pueden aumentar la escorrentía de aguas contaminadas hacia las fuentes de agua potable. Las temperaturas más altas también pueden favorecer la proliferación de bacterias en aguas superficiales (Apolinario & Araujo, 2018).



Fallas en el Tratamiento del Agua: La ineficacia en los sistemas de tratamiento, como la cloración insuficiente o la filtración inadecuada, puede resultar en la supervivencia de coliformes en el agua potable.

Infraestructura de Distribución: Las fugas y roturas en las tuberías de distribución pueden permitir la entrada de contaminantes externos, incluyendo coliformes, especialmente en sistemas antiguos o mal mantenidos (MINAM, 2018).

Actividades Humanas y Animales: Las actividades agrícolas y ganaderas pueden contribuir a la contaminación fecal de las fuentes de agua. El vertido de aguas residuales sin tratar también es una fuente significativa de contaminación por coliformes (DIGESA, 2011).

La presencia de coliformes, especialmente coliformes fecales, en el agua destinada al consumo humano representa un riesgo considerable para la salud pública. Las enfermedades transmitidas por el agua, como la gastroenteritis, la disentería y la hepatitis A, son algunas de las infecciones más comunes asociadas con el consumo de agua contaminada. La eliminación efectiva de coliformes a través de procesos de tratamiento adecuados, como la desinfección y la filtración, es esencial para prevenir brotes de enfermedades hídricas y proteger la salud de las comunidades (MINAM, 2018).

2.2.3. Parámetros fisicoquímicos

La calidad del agua para consumo humano depende de una variedad de parámetros fisicoquímicos que determinan su adecuación para el uso diario. Estos parámetros incluyen características físicas y químicas que, en conjunto,



proporcionan una imagen completa del estado del agua y su potencial impacto en la salud humana y en los sistemas de distribución. Para garantizar la seguridad del agua potable, las agencias de salud pública y los organismos reguladores establecen límites permisibles para estos parámetros, asegurando que el agua sea segura para el consumo y no represente riesgos para la salud (Alcívar et al., 2017).

2.2.3.1. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, lo cual depende de la concentración de iones disueltos en el agua, como sodio, cloruro, calcio, y magnesio. La CE es un indicador general de la calidad del agua, ya que un alto nivel de conductividad puede reflejar la presencia de contaminantes inorgánicos disueltos. En el contexto del agua potable, una conductividad eléctrica elevada puede indicar la contaminación con sales minerales, residuos industriales o agrícolas, o procesos de infiltración de agua salina en acuíferos costeros. La conductividad eléctrica del agua potable debe mantenerse dentro de un rango que garantice la seguridad del consumo y la integridad de las infraestructuras de distribución (Collazo, 2015).

2.2.3.2. Turbidez

La turbidez se refiere a la claridad del agua y se mide mediante la cantidad de luz que se dispersa por las partículas suspendidas presentes en la muestra de agua. Las partículas responsables de la turbidez pueden ser de origen orgánico (como microorganismos) o inorgánico (como arcillas, limos y otros sedimentos). La turbidez elevada puede proteger a los microorganismos patógenos de la acción desinfectante del cloro o la



radiación ultravioleta y es, por lo tanto, un parámetro crítico en la evaluación de la calidad del agua potable. Los niveles de turbidez en el agua potable deben ser bajos para asegurar la efectividad de los procesos de tratamiento y prevenir riesgos para la salud pública (Legua et al., 2016).

2.2.3.3. Dureza total

La dureza total del agua se define como la concentración de iones de calcio y magnesio disueltos en el agua. La dureza se clasifica generalmente en dos categorías: dureza temporal, que se puede eliminar mediante la ebullición, y dureza permanente, que no se elimina por este método. La dureza del agua afecta tanto la salud como el sistema de distribución de agua; por ejemplo, el agua extremadamente dura puede contribuir a la formación de depósitos de sarro en las tuberías y equipos domésticos, mientras que el agua extremadamente blanda puede ser corrosiva. Aunque no hay efectos directos significativos de la dureza del agua sobre la salud humana, niveles excesivamente altos pueden ser indicativos de problemas de calidad del agua o de la necesidad de tratamientos adicionales (Escandón & Cáceres, 2022).

2.2.3.4. Sólidos disueltos totales

Los sólidos totales disueltos representan la cantidad total de sustancias disueltas en el agua, incluyendo minerales, sales, metales y compuestos orgánicos. Este parámetro se utiliza para evaluar la salinidad del agua y su aceptabilidad para el consumo humano. Altos niveles pueden conferir al agua un sabor desagradable, interferir con el proceso de tratamiento y representar un riesgo potencial para la salud cuando



contienen ciertos contaminantes como metales pesados o pesticidas (Legua et al., 2016).

2.2.3.5. pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua, determinada por la concentración de iones de hidrógeno, el agua potable idealmente debería tener un pH cercano a la neutralidad (7.0), aunque generalmente se acepta un rango de 6.5 a 8.5 para el consumo humano. Un pH fuera de este rango puede tener efectos corrosivos o formadores de incrustaciones en las tuberías y afectar la efectividad de los desinfectantes utilizados en el tratamiento del agua. Además, un pH muy bajo (agua ácida) o muy alto (agua alcalina) puede tener efectos adversos sobre la salud, incluyendo irritaciones en la piel y los ojos y problemas gastrointestinales (Garcés and Pacheco, 2020).

2.2.3.6. Cloruros

Los cloruros son iones que se encuentran comúnmente en el agua y que pueden provenir de fuentes naturales o actividades humanas, como la intrusión de agua salina, el uso de sal para deshielo, o la descarga de aguas residuales industriales. Aunque los cloruros en sí mismos no son tóxicos para los humanos en concentraciones bajas, niveles elevados pueden dar lugar a un sabor salado en el agua y pueden contribuir a la corrosión de las infraestructuras metálicas, afectando así la calidad del suministro de agua. Los límites para los cloruros en el agua potable se establecen para prevenir estos efectos y mantener la aceptabilidad del agua para los consumidores (Sánchez et al., 2020).



2.2.3.7. Sulfatos

Los sulfatos son compuestos que contienen el ion sulfato (SO_4^{2-}) y se encuentran de forma natural en algunos minerales. En el agua potable, los sulfatos pueden provenir de fuentes geológicas, aguas residuales industriales, o actividades agrícolas. Si bien no son considerados peligrosos en bajas concentraciones, los niveles elevados de sulfatos en el agua pueden causar efectos laxantes y un sabor desagradable. Además, altos niveles de sulfatos pueden contribuir a la corrosión de las tuberías metálicas. Por estas razones, se establecen límites para los sulfatos en el agua potable para garantizar tanto la seguridad como la aceptabilidad del suministro (Soriano, 2018).

2.2.3.8. Nitratos

Los nitratos son compuestos que contienen el ion nitrato (NO_3^-) y se encuentran comúnmente en el medio ambiente como resultado de la descomposición de materia orgánica y la actividad agrícola, incluyendo el uso de fertilizantes nitrogenados. En el agua potable, los nitratos pueden ser especialmente peligrosos para la salud, ya que se asocian con la metahemoglobinemia (o "síndrome del bebé azul") en infantes y pueden tener otros efectos adversos en la salud a largo plazo. La presencia de nitratos en niveles elevados puede indicar la contaminación por aguas residuales agrícolas o urbanas. Por tanto, es crucial monitorear y controlar los niveles de nitratos en el agua potable para proteger la salud pública (DIGESA, 2011).



Los parámetros fisicoquímicos del agua son esenciales para determinar su calidad y su idoneidad para el consumo humano. Cada parámetro proporciona información específica sobre posibles contaminantes o condiciones adversas que pueden afectar tanto la salud humana como la integridad de los sistemas de distribución. El monitoreo regular y el control de estos parámetros son fundamentales para garantizar un suministro de agua seguro y confiable, cumpliendo con los estándares establecidos por organismos internacionales de salud pública (Calsín, 2016).

2.2. ANTECEDENTES

Esparza et al. (2020) en México determinaron el análisis del agua como resultado los pozos exceden el límite permisible indicado por Norma Oficial Mexicana (NOM), sin embargo el pozo dos presento la mayor cantidad de coliformes termotolerantes 0.9NMP/100ml en la época de lluvia y el pozo con 0.2NMP/100ml presento la menor cantidad en la época de post lluvia; mientras que para los coliformes totales el pozo dos supera el valor máximo y el pozo uno presenta una mayor concentración en la época de lluvia mas no supera el límite permisible indicado por la NOM. Además, Anduro et al. (2017) en México realizaron el diagnóstico de la calidad sanitaria del agua de pozo en comunidades, presentaron contaminación por coliformes totales de 50.9%, coliformes termotolerantes 39.6%.

Mendez et al. (2015) en México analizaron la calidad del agua de pozos donde el 83.1% de los pozos excede los límites permisibles para coliformes totales; el 84.9% de los pozos presentan contaminación por coliformes termotolerantes según la NOM-127.SSAI-1994; donde el 34% y 50% de contaminación fecal se asocia al origen animal y humano.



Baque et al. (2016) en Ecuador determinaron la calidad del agua destinada al consumo humano de veintisiete muestras en temporada de lluvia y seca, donde presentaron contaminación por coliformes termotolerantes en la temporada seca de 76% y temporada lluvia de 73% de acuerdo al Índice de Calidad del Agua (ICA) indicando que requiere tratamiento de potabilización previo a su consumo.

Trinelli et al. (2018) estudiaron en Argentina en la Provincia de Chaco la calidad del agua subterránea obteniendo como resultados para la zona de impenetrable el 74% de las muestras superan los límites permisibles para coliformes totales y para la zona de Saens Peña el 60% de las muestras exceden los valores normales de coliformes totales lo cual indica que no son aptas para el consumo. De tal manera, Urseler et al. (2019) en Argentina evaluaron la calidad del agua, con respecto a coliformes totales, se indica que el 31% de muestras superan el valor límite de $<3\text{NMP}/100\text{ml}$ y coliformes termotolerantes aparece con el 8% de contaminación.

Sotomayor (2013) en Paraguay evaluó las aguas de pozo artesiano no tratadas en los Distritos del Departamento Central, Cordillera y Municipio Capital, el 48.8% contenía concentraciones de coliformes termotolerantes y coliformes totales fuera de los límites de la norma Paraguay, (NP) 24 001 80.

Fernandez (2007) evaluó en la Provincia de Holguín la calidad bacteriológica, siendo estas aguas de pozos contaminadas por bacilos coli y coli fecales, según la Norma Cubana (NC) 93-02:1985 no cumplen los requisitos establecidos.

Mejia et al. (2021) analizaron en la Provincia de Jaén la calidad del agua de consumo humano del Centro Poblado Pachapiriana, reportando para la zona de captación los coliformes totales fueron de 79/100 mililitros (ml) y coliformes termotolerantes fueron de 9.3/100 ml; zona de sedimentación presento coliformes totales de 49/100 ml y



coliformes termotolerantes de 6.8/100 ml; zona de reservorio obtuvo coliformes totales de 27/100 ml y coliformes termotolerantes de 6.8/100 ml y el pozo de abastecimiento presento coliformes totales de 49/100 ml y coliformes termotolerantes de 9.3/100 ml por lo tanto el agua no reúne las condiciones para ser considerada apta para el consumo humano.

Vargas et al. (2019) en la Región de Arequipa, determinaron la calidad de las aguas termales de Yura, con muestras de sesenta pozos donde reportaron la presencia de 1.6% de coliformes totales, que sobrepasaron los parámetros establecidos por el decreto supremo 002-2008 Ministerio del Ambiente (MINAN).

Belizario (2011) en el Distrito de Coata realizo el análisis de aguas subterráneas con fines de consumo humano donde los coliformes totales en promedio fueron de 9NMP/100ml a 2000NMP/100ml y coliformes termotolerantes en promedio fueron de 0NMP/100ml a 150NMP/100ml, considerando que algunos pozos no son aptos para su consumo.

Brousett et al. (2018) en la ciudad de Juliaca, Región de Puno realizaron la evaluación del agua para consumo humano, donde reportaron valores elevados de coliformes totales en épocas de lluvia, llegando a 11 866.6 UFC/100ml (± 813.5) en indica que le agua no cumple con la normativa. De la misma manera, Valenzuela & Yucra (2022) en la ciudad de Juliaca reporta un valor de 2NMP/100ml este valor supera el nivel permitido.

Baque et al. (2016) en Ecuador analizaron los parámetros fisicoquímicos obteniendo en la épocas de lluvia y seca de 0.4mg/L y 1.04mg/L de nitratos; pH relativamente dentro del valor normal con variaciones de acuerdo a las épocas de lluvia y seca 7.45 y 7.26; así mismo un valor promedio de dureza 149.2 mg/L y 115.6 mg/L en



épocas de lluvia y seca; además obtuvo valores de cloruros 5.9 mg/L y 5.08 mg/L en épocas de lluvia y seca.

Robles et al. (2013) analizaron en México la calidad fisicoquímica del agua de nueve pozos, donde la mayor parte cumplen los parámetros establecidos según la NOM 127-SSAI-1994, excepto el manantial con 1198mg/L de sólidos disueltos, 740mg/L de sulfatos, 736mg/L de dureza total; el pozo seis contiene 508mg/L de dureza total y el pozo cuatro y seis con un pH de 6 y 6.4 respectivamente.

Esparza et al. (2020) en México realizaron el análisis fisicoquímico en agua de pozos, dando a conocer que obtuvieron un pH de 7 dentro del valor recomendado; con respecto a la dureza presento variaciones de acuerdo a las temporadas climatológicas, en el pozo dos en el tiempo de estiaje con un valor mínimo de y post lluvia en el pozo uno con valores elevados, en cuanto a sólidos totales disueltos presentaron valores más altos en la temporada de lluvia y post lluvia.

Trinelli et al. (2018) en Argentina Provincia de Chaco realizaron el análisis fisicoquímico encontrando niveles altos de arsénico y fluoruro, en cuanto a dureza llego a triplicar los valores permitidos, mientras que los cloruros, sulfatos, sólidos totales disueltos, pH y turbidez presentaron valores elevados en algunos lugares de muestreo.

Castillo et al. (2010) analizaron en la Provincia de Villa Clara la calidad fisicoquímica en aguas de pozo, donde destaca el policlínico Nazareno presentando un nivel de contaminación con nitrito del 100% y el policlínico Santa Clara, Capitan Roberto Fleites y Marta Abreu presentan el 50% en el año 2006; el policlínico Santa Clara presenta el 75% y el resto 50% de contaminación en el año 2007.

Castillo et al. (2022) en la Universidad Nacional de Trujillo, Perú, las aguas subterráneas fueron comparados en las tres estaciones con las normas vigentes, los



parámetros de olor y sabor presentan valores aceptables; sin embargo, el agua de pozo de almacenamiento central no reúne las condiciones químicas de salubridad.

Valenzuela & Yucra (2022) en la ciudad de Juliaca, reportaron que los valores de pH, turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos, cloruros y sulfatos se encontraron dentro de los valores normales, sin embargo, el valor de la dureza fue de 573mg/L elevado de acuerdo con la normativa de la calidad de agua según el Decreto Supremo (DS) N.º 031-2010-SA.

Brousett et al. (2018) en la ciudad de Juliaca, Región de Puno evaluaron el aspecto fisicoquímico del agua de pozos donde indican que el pH se encuentra dentro del valor normal, turbidez alta en épocas de lluvia, conductividad eléctrica de 1500 $\mu\text{mho/cm}$ dentro del valor normal, cloruros con un rango de 18 a 75mg/L y dureza con un rango de 92 a 135 mg/L respectivamente dentro de los valores normales.

Inquilla (2020) en el río de Coata analizó diferentes parámetros fisicoquímicos donde reporta como resultados en promedio 7.50 a 7.57 de pH; 598.00, 309.67 y 336.33 mg/L de sólidos disueltos totales; 347.62, 307.78 y 293.69 mg/L de dureza estos encontrándose dentro de los valores permitidos, mientras tanto 342.56, 309.90 y 272.58 mg/L de cloruros este parámetro se encuentra por encima del valor recomendado, por lo mismo dice que estas aguas no son aptas para el consumo de la población.

Belizario (2011) en la comunidad de Carata, Distrito de Coata analizó la calidad de agua provenientes de pozos subterráneos destinados a consumo donde el pH fue de 7.03 a 8.03 regularmente alcalina; conductividad fue 0.39 mS/cm a 40 mS/cm con mineralización de medianamente a alta; dureza fue 209.88 mg/L a 1595.88 mg/L superando los niveles máximos; cloruro fue 21.88 mg/L a 634.73 mg/L este por encima de los límites máximos permitidos; sulfato fue 36.0 mg/L a 266 mg/L elevados; nitratos



fue negativo el cual cumple con los valores; sólidos totales fue 69.20 mg/L a 74.36 mg/L dentro de los valores normales.

Mamani (2019) estudio en la comunidad de Suches, Distrito de Caracoto, Provincia de San Román, los parámetros fisicoquímicos del agua donde se encontraron valores 7.47 a 8.23 de pH, 178.33 a 953.33 mg/L de dureza, 216.67 a 1284 uS/cm de conductividad eléctrica, 56.67 y 240.00 mg/L de bicarbonatos, 21.69 a 500.71 mg/L de cloruros, 93.00 a 305.33 mg/L de sulfatos, 1.53 a 25 mg/L de nitratos, 0.020 a 0.044 mg/L de arsénico y 0.044 a 0.089 mg/L de plomo.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Agua Subterránea:** Es el agua que se encuentra bajo la superficie terrestre, almacenada en formaciones geológicas conocidas como acuíferos. Esta agua se infiltra a través del suelo y las rocas y es una fuente importante de agua dulce para consumo humano, riego, y uso industrial (JICA, 2003).
- **Calidad:** Se refiere al estado o condición del agua en términos de su composición química, física y biológica. La calidad del agua determina su idoneidad para diferentes usos, como el consumo humano, la agricultura, la industria y el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos.
- **Microorganismos:** Son organismos microscópicos que incluyen bacterias, virus, hongos, y protozoos. Algunos microorganismos son patógenos y pueden causar enfermedades, mientras que otros son esenciales para los procesos ecológicos y el mantenimiento de la calidad del agua (Ortíz, 2015).
- **Coliformes:** Son un grupo de bacterias que se utilizan como indicadores de contaminación microbiológica en el agua. Se dividen en coliformes totales y



coliformes fecales, siendo estos últimos indicadores de contaminación fecal reciente y la posible presencia de patógenos entéricos (MINAM, 2018).

- **pH:** Es una medida de la acidez o alcalinidad del agua, en una escala de 0 a 14, donde 7 representa un pH neutro. El pH del agua es un factor importante para la calidad del agua potable, ya que influye en la solubilidad de minerales y metales y en la efectividad de los desinfectantes.
- **Bacterias:** Son microorganismos unicelulares que pueden ser beneficiosos o perjudiciales. En el contexto del agua, algunas bacterias, como coliformes totales y termotolerantes, se utilizan como indicadores de contaminación fecal, mientras que otras pueden causar enfermedades infecciosas.
- **Bioindicadores:** Son organismos o grupos de organismos que se utilizan para evaluar la salud de un ecosistema o la calidad ambiental. En el contexto del agua, los bioindicadores pueden incluir ciertos tipos de bacterias, algas, o invertebrados acuáticos que reaccionan de manera predecible a cambios en la calidad del agua.
- **Contaminación:** Se refiere a la presencia de sustancias nocivas o no deseadas en el agua, aire, suelo o cualquier otro medio natural, que pueden afectar negativamente la salud humana, los ecosistemas y los recursos naturales. En el agua, la contaminación puede ser química, física o biológica, y proviene de fuentes como desechos industriales, agrícolas, y urbanos.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

El estudio se realizó durante los meses de junio, julio y agosto del 2024, en el distrito de Caracoto, el cual limita al norte con el distrito de Juliaca al oeste con el distrito de Huata y Coata al oeste con el Distrito de Cabana y al sur con la provincia de Puno, con una superficie territorial de 285,87 km², una altitud promedio de 3825 msnm, con una T° entre 9.5 a -4.2 °C y una precipitación pluvial de 684 mm anual promedio, entre las siguientes coordenadas geográficas 15° 33'59'' de latitud sur y 7° 06'12'' de longitud oeste, específicamente comprende los sectores de Suches 15° 34'03'' S y 70°03'45''W altitud de 3837 msnm, Pucara con una ubicación de 15° 35'35''S y 70°06'04'' W altitud de 3822 msnm y Chujura 15°34'29''S y 70°07'28''W altitud de 3822 msnm.

3.2. DISEÑO DE ESTUDIO

El tipo de investigación fue descriptivo transversal, considerando que el investigador no interviene ni modifica la variable de estudio, sino que recoge la información tal y como se encuentra al momento de tomar las muestras, transversal porque se tomaron los datos en una única oportunidad.

El diseño que se aplicó fue el de bloque completamente al azar (DCBA), considerando los lugares (Suches, Pucara y Chujura) como tratamientos y los meses (junio, julio y agosto) como bloques con tres repeticiones en cada lugar. El modelo matemático que se utilizó es el siguiente:



$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Variable respuesta

μ : promedio

τ_i : efecto del i-esimo tratamiento (lugares)

β_j : efecto j-esimo bloques (meses)

ε_{ij} : error experimental

3.3. VARIABLES DE ESTUDIO

- **Variables independientes:** sectores de muestreo, Suches, Pucara y Chujura.
- **Variables dependientes:** calidad bacteriológica del agua (coliformes totales y termotolerantes) y parámetros fisicoquímicos del agua (conductividad, turbidez, dureza total, sólidos totales disueltos, pH, cloruros, sulfatos, nitratos).

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1. Población:

La población estuvo conformada por los pozos de los tres sectores del distrito de Caracoto.

3.4.2. Muestra

El tamaño de muestra fue determinado por conveniencia en tres sectores (Suches, Pucara, Chujura) con tres repeticiones durante tres meses (junio, julio, agosto), como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 1

Lugares de muestreo de pozos en el distrito de Caracoto durante junio, julio, agosto del 2024.

Lugar de muestreo	Meses de muestreo/repeticiones			TOTAL
	Junio	Julio	Agosto	
Suches	1	1	1	3
Pucara	1	1	1	3
Chujura	1	1	1	3
TOTAL	3	3	3	9

Nota: Elaboración propia

3.5. METODOLOGÍA

3.5.1. Determinación de la calidad bacteriológica de agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto.

a) Toma de muestra

Se realizó la recolección y transporte de muestras de agua de pozos según el protocolo de extracción de muestras de agua de pozo (NTP, 2016); según la Norma Técnica Peruana (NTP) ISO 5667-3, para ello se prepararon los frascos de muestreo debidamente esterilizados previamente, luego se realizó la toma de muestra de los pozos subterráneos para el análisis bacteriológica se tomó una muestra de 500 ml, los frascos fueron transportados en cooler de plástico con refrigerante para una buena conservación de las muestras, en la parte interna del cooler se colocó etiquetas de identificación, cuyos datos fueron:

- Identificación del punto de muestreo.
- Fecha y hora de recolección.



- Temperatura.
- Nombre y firma de la persona que hizo el muestreo.
- Observaciones

b) Determinación de coliformes totales

Método: Numero más probable o tubos múltiples (MNP)

- **Test presuntivo**

- Se inocularon tubos de ensayo con 9 ml de caldo lactosado y tubo de Durham invertido, con 10 ml, 1 ml y 0.1 ml de dilución.
- Se incubaron durante 24 a 48 horas a 37°C, después de 24 horas se realizó la lectura.
- Luego a las 48 horas se interpretó como lactosa positivos aquellos tubos que presentaron gas y fermentaron la lactosa.
- Si los tubos son negativos a las 72 horas, el examen se dio por terminado, los tubos positivos fueron seleccionados para el siguiente análisis.

- **Test confirmativo**

- De los tubos positivos se obtuvieron 3 tomas de muestra con asa de Kolle de cultivo y se inocularon en tubos de ensayo con 10 ml de medio de cultivo caldo medio brillante bilis lactosa y tubos Durham invertido
- Se incubaron 48 horas a 37°C luego se realizó la lectura de los tubos con crecimiento, gas positivo y se cotejaron con la tabla NMP para los cálculos.
- Para optar el número más posibles de coliformes por ml se utilizó la siguiente fórmula.

$$\frac{\text{Valor de la tabla del NMP}}{10} = NMP / 100$$



c) **Determinación de coliformes termotolerantes**

Método: Numero más probable o tubos múltiples (MNP)

- **Test presuntivo**
- Se inocularon tubos de ensayo con 9 ml de caldo lactosado y tubo de Durham invertido, con 10 ml, 1 ml y 0.1 ml de dilución.
- Se incubaron durante 24 a 48 horas a 37°C, después de 24 horas se realizó la lectura.
- Luego a las 48 horas se interpretó como lactosa positivos aquellos tubos que presentaron gas y fermentaron la lactosa.
- Si los tubos son negativos a las 72 horas, el examen se dio por terminado, los tubos positivos fueron seleccionados para el siguiente análisis.
- **Test confirmativo**
- De los tubos positivos se obtuvieron 3 tomas de muestra con asa de Kolle de cultivo y se inocularon en tubos de ensayo con 10 ml de medio de cultivo caldo medio brillante bilis lactosa y tubos Durham invertido
- Se incubaron 24 horas a 45.5 °C luego se realizó la lectura de los tubos con crecimiento, gas positivo y se cotejaron con la tabla NMP para los cálculos.
- Para optar el número más posibles de coliformes por ml se utilizó la siguiente fórmula.

$$\frac{\text{Valor de la tabla del NMP}}{10} = NMP / 100$$



3.5.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos: conductividad, turbidez, dureza total, sólidos totales disueltos, pH, cloruros, sulfatos, nitratos, en agua subterránea de consumo humano en tres sectores del distrito de Caracoto.

a) Toma de muestra

Se realizó la recolección y transporte de muestras de agua de pozos según el protocolo de extracción de muestras de agua de pozo (NTP, 2016); según la Norma Técnica Peruana (NTP) ISO 5667-3 para ello se prepararon los frascos de muestreo debidamente esterilizados previamente, luego se realizó la toma de muestra de los pozos subterráneos para el análisis de los parámetros fisicoquímicos se tomó una muestra de 1000 ml, los frascos fueron transportados en cooler de plástico con refrigerante para una buena conservación de las muestras, en la parte interna del cooler se colocó etiquetas de identificación, cuyos datos fueron:

- Identificación del punto de muestreo.
- Fecha y hora de recolección
- Temperatura
- Nombre y firma de la persona que hizo el muestreo.
- Observaciones

b) Determinación de parámetros fisicoquímicos

Se utilizó las metodologías de la Norma Técnica Peruana 2012, Manual de Análisis de Agua (HACH, 2000), mediante los procedimientos fotométricos y procedimientos de titulación, cuyos resultados fueron interpretados mediante el



reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS 031-2010. SA (MINSA, 2010).

- **Conductividad eléctrica**

Se colocó 30 ml de agua en una probeta, después se introdujo el electrodo del conductímetro y se realizó la lectura.

- **Turbidez**

Se añadió 25 ml de agua en una celda y se colocó en el turbidímetro, posteriormente después de 2 min se realizó la lectura.

- **Dureza total**

Se colocó 25 ml de agua en un tubo de ensayo y se vertió en matraz de 250 ml, luego se agregó 1 ml de solución tampón y 2 mg de indicador negro de eriocromo T. Luego, se realizó la titulación de EDTA mediante agitación suave hasta que se cambió de color rojo a azul.

- **Sólidos totales disueltos**

El electrodo del dispositivo se lavó con agua destilada, luego se secó con un paño y se colocó el electrodo del medidor de conductividad en agua, luego se presionó la tecla de modo se observó y anotó el resultado.

- **pH**

Se añadió 20 ml de agua en un vaso precipitado, luego se introdujo el electrodo del potenciómetro se observó y anotó el resultado.



- **Cloruros**

Se colocó 25 ml de agua en un matraz luego se añadió 0.5 ml de indicador cromato de potasio, seguidamente se realizó la titulación con nitrato de plata, hasta virar de color amarillo a rojo pajizo y se observó y anotó el resultado.

- **Sulfatos**

Se colocó 25 ml de agua en un matraz luego se añadió 0,01 mg de cloruro de bario, se disolvieron y se dejó reposar por 10 min, luego se llevó al equipo de espectrofotometría y se observó los resultados.

- **Nitratos**

Se preparó la curva de calibración del nitrato luego se colocó 10 ml de agua a un vaso de 50 ml con agitador magnético, se agregó los reactivos y se observó los resultados.

3.5.3. Análisis estadístico

Inicialmente se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas, utilizando estadísticos de tendencia central y de dispersión, posteriormente se sometieron los datos a un Análisis de Varianza (ANOVA), con un nivel de confianza al 95% y un 5% de error. Se utilizó la prueba de T de Student de una muestra para comparar los valores obtenidos contra el valor referencial según la normatividad vigente.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIDAD BACTERIOLOGICA DE AGUA SUBTERRÁNEA DE CONSUMO HUMANO EN TRES SECTORES DEL DISTRITO DE CARACOTO

Tabla 2

Contenido de coliformes totales (NMP/100 ml) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

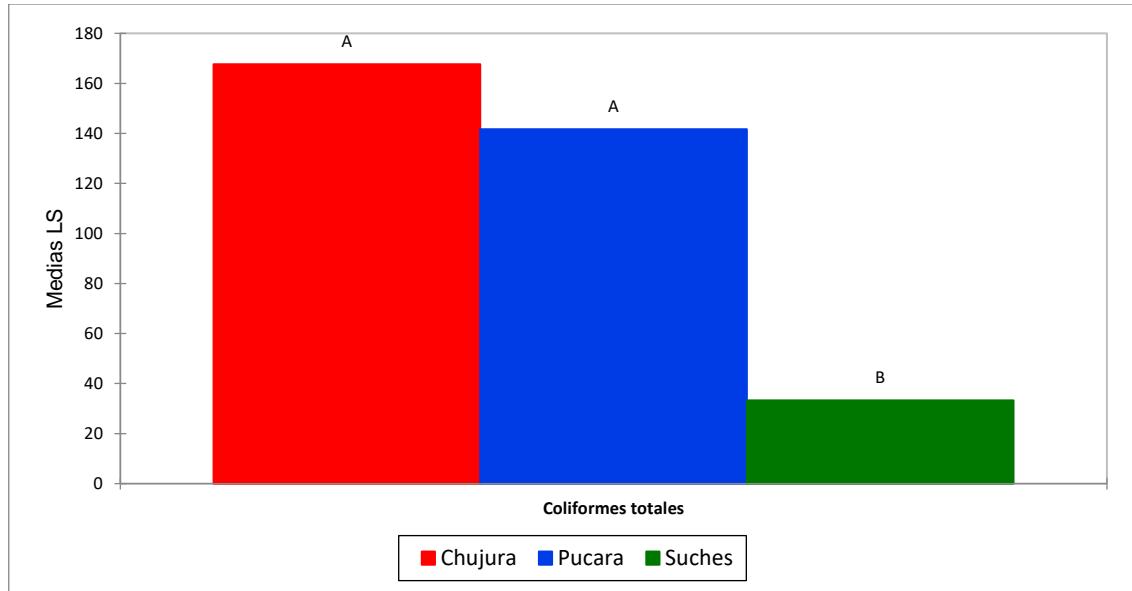
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	26	165	180
Julio	34	120	165
Agosto	40	140	158
Media	33.33	141.67	167.67
D.E.	7.02	22.55	11.24

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de los coliformes totales presentes en el agua subterránea de consumo humano, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 167.67NMP/100 ml indicando un mayor grado de contaminación, seguido del sector Pucara donde la media fue de 141.67 NMP/100 ml, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 33.33 NMP/100 ml de coliformes totales; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en los tres sectores se obtuvieron valores por encima de lo indicado en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua no es apta para el consumo humano.

Figura 1

Comparaciones con pruebas de tukey para coliformes totales (NMP/100 ML) en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.0001$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para los sectores de Chujura y Pucara el contenido de coliformes totales es similar y mayor al obtenido en el sector de Suches.

Al respecto Mamani (2019), también halló en sus resultados la presencia de coliformes totales en muestras de agua subterránea, enfatizando que las mismas no son aptas para el consumo humano, puesto que puede provocar enfermedades diarreicas. En este mismo sentido Esparza et al. (2020) sostiene que obtuvo muestras con cargas elevadas de coliformes totales en México, recomendando que no sean consumidas de manera directa, sino que pasen por un proceso de desinfección previo. De la misma



manera Trinelli et al. (2018) determinó que el 60% de muestras resultaron contaminadas por coliformes totales en Argentina.

De manera similar Castillo et al. (2019) reporta en Ecuador aguas de origen subterráneo con evidente contaminación microbiológica, expresado en presencia de coliformes totales de 360 UFC/100 ml. Por su parte Belizario (2011) en Coata obtuvo valores promedio de 9 NMP/100 ml hasta 2000 NMP/100 ml. Cabe resaltar que los resultados del presente estudio se encuentran por encima de los valores recomendados para su consumo donde se reporta hasta 167.67 NMP/100 ml en el sector de Chujura.

Mientras que el contexto regional Brousett et al. (2018) reporta valores mucho más elevados de hasta 11 866.6 UFC/100 ml, lo cual se constituye en un riesgo para la salud de las personas que consumen esta agua de forma directa. Así también Anduro et al. (2017) menciona que sus resultados identificaron la presencia de coliformes totales en hasta el 50.9% de sus muestras de agua subterránea. Este aspecto es también evidenciado en Paraguay donde Sotomayor (2013) halló coliformes totales por encima de la normatividad de su país. De igual manera Calsín (2016) afirma que en Juliaca el agua de pozos artesanales no son aptos para el consumo según los límites máximo permisibles emitidos por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

Respecto a la presencia de coliformes totales en el agua, se debe a que la misma puede haber estado expuesta a contaminación ambiental o a contaminación fecal, aunque no necesariamente implica la presencia de patógenos, sin embargo, su presencia puede señalar fallas en el sistema de tratamiento de agua o la entrada de contaminación externa Valderrama et al. (2010).



Tabla 3

Contenido de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

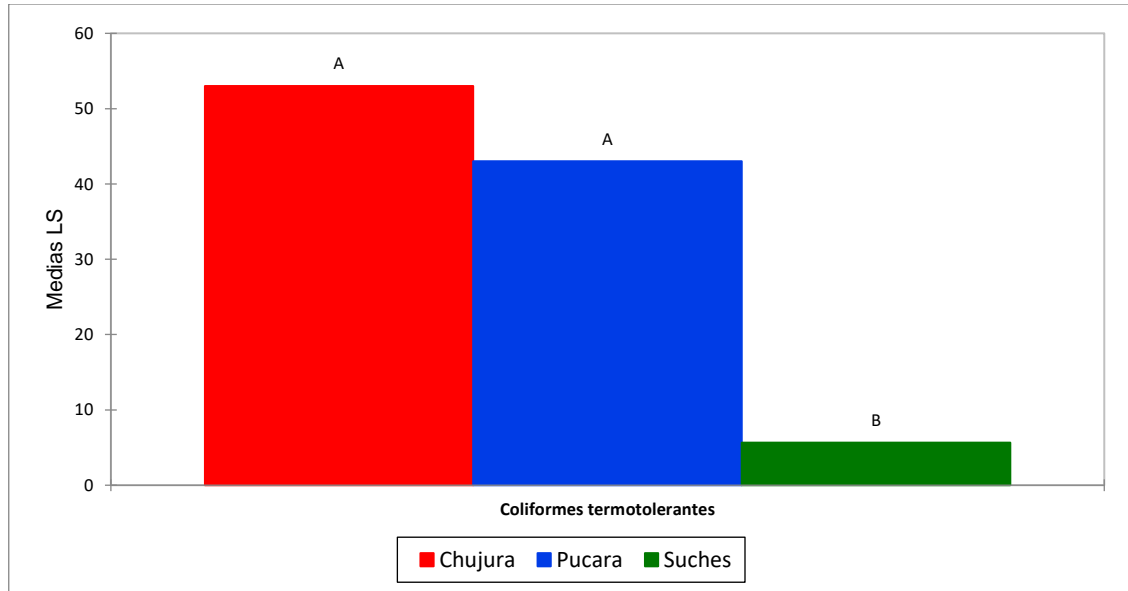
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	5	36	60
Julio	3	38	54
Agosto	9	55	45
Media	5.67	43.00	53.00
D.E.	3.06	10.44	7.55

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de los coliformes termotolerantes presentes en el agua subterránea de consumo humano en el Distrito de Caracoto, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 53.00 NMP/100 ml indicando un mayor grado de contaminación, seguido del sector Pucara donde la media fue de 43.00 NMP/100 ml, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 5.67 NMP/100 ml de coliformes termotolerantes; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en los tres sectores se obtuvieron valores por encima de lo indicado en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua no es apta para el consumo humano.

Figura 2

Comparaciones con prueba de Tukey para coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.001$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para los sectores de Chujura y Pucara el contenido de coliformes termotolerantes es similar y mayor al obtenido en el sector de Suches.

Al respecto Mejia et al., (2021) señala que en sus resultados halló coliformes termotolerantes por encima de lo recomendado en la normatividad del país, por tanto, se recomienda que las mismas no se consuma de manera directa, lo cual también ha sido señalado en el presente estudio. Así mismo Rodriguez et al., (2018) en Argentina, señala que los valores más altos de contaminación fueron por coliformes termotolerantes en aguas de pozos, no descartando la contaminación con heces.



Así mismo Anduro et al., (2017) en sus resultados halló coliformes fecales en un 39.6% de muestras de agua, por lo que las mismas no son aptas para consumo humano. De similar forma (Baque et al., 2016) reporta en Ecuador aguas de pozos con evidente contaminación microbiológica, recomendando la potabilización antes de ser consumida, por el riesgo de contraer alguna infección intestinal. Como también lo resalta Sotomayor, (2013) en Paraguay, donde el 48.8% de las muestras de agua contenían concentraciones de coliformes fecales por encima de la norma de su país.

Como señala Mendez et al., (2015) reporto una contaminación por coliformes termotolerantes del 84.9% en pozos y se asocia al origen animal y humano. Por otro lado, Esparza et al., (2020) en México indica los pozos exceden el límite permisible indicado por la NOM, sin embargo el pozo dos presento la mayor cantidad de coliformes termotolerantes 0.9 NMP/100 ml en la época de lluvia.

La importancia de identificar la presencia de coliformes fecales es un indicador específico de contaminación fecal reciente y, por lo tanto, de un mayor riesgo de presencia de otros patógenos fecales Legua et al., (2016), por lo que como se ha mencionado en el presente estudio, se debe buscar desinfectar el agua antes de su consumo. Además, se resalta que las enfermedades transmitidas por el agua, como la gastroenteritis, la disentería y la hepatitis A, son algunas de las infecciones más comunes asociadas con el consumo de agua contaminada.



4.2. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS: CONDUCTIVIDAD, TURBIDEZ, DUREZA TOTAL, SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS, pH, CLORUROS, SULFATOS, NITRATOS EN AGUA SUBTERRÁNEA DE CONSUMO HUMANO EN TRES SECTORES DEL DISTRITO DE CARACOTO.

Tabla 4

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

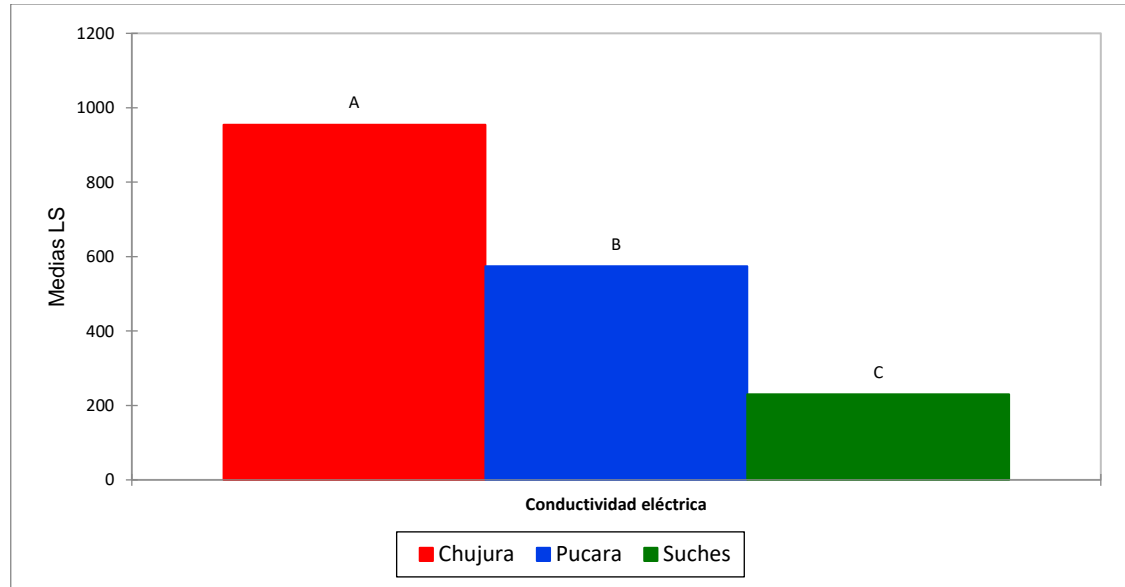
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	250	527	962
Julio	221	610	915
Agosto	218	584	987
Media	229.67	573.67	954.67
D.E.	17.67	42.45	36.56

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de la conductividad eléctrica en el agua subterránea de consumo humano en el Distrito de Caracoto, donde en el sector de Chujura se halló la mayor media con 954.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, seguido del sector Pucara donde la media fue de 573.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 229.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en los tres sectores se obtuvieron valores por debajo de lo indicado en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua respecto a este parámetro se halla dentro de lo permisible.

Figura 3

Comparaciones con prueba Tukey para conductividad eléctrica en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.0001$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Chujura la conductividad eléctrica es superior al resto, en segundo lugar, se ubica el sector Pucara con un valor medio y Suches con el menor valor de conductividad eléctrica.

Al respecto Curo, (2015) señala en el Distrito de Huata obtuvo resultados de la conductividad eléctrica para las zonas de Collana II un $2448.3 \mu\text{S}/\text{cm}$, Faon un $2037.3 \mu\text{S}/\text{cm}$, Yasin un $1660.7 \mu\text{S}/\text{cm}$ y Collana un II $1347 \mu\text{S}/\text{cm}$ siendo elevados. Sin embargo, en el presente estudio los valores de este parámetro estuvieron dentro de lo permisible. Mientras que Mamani, (2019) en la cuenca del río Suches reporta valores superiores, lo cual se atribuye a un proceso de contaminación por actividad minera, puesto



que como se conoce la conductividad eléctrica suele estar asociada a presencia de metales pesados.

Mientras tanto Brousett et al., (2018) cabe señalar que en la ciudad de Juliaca, en agua de pozos la conductividad se encuentra en 1500 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ dentro del valor normal. En el caso de Calsín, (2016) describe los valores promedio 1636.25 a 1082.18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la zona de Taparachi II de Juliaca.

Según Collazo, (2015) un alto nivel de conductividad en el agua puede reflejar la presencia de contaminantes inorgánicos, básicamente por presencia de iones. Por tanto, en los tres sectores del distrito de Caracoto no se evidenció presencia de los mismos.

Tabla 5

Turbidez (UNT) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	1.3	1.5	2.5
Julio	1.5	1.8	2.4
Agosto	1.8	1.9	2.7
Media	1.53	1.73	2.53
D.E.	0.25	0.21	0.15

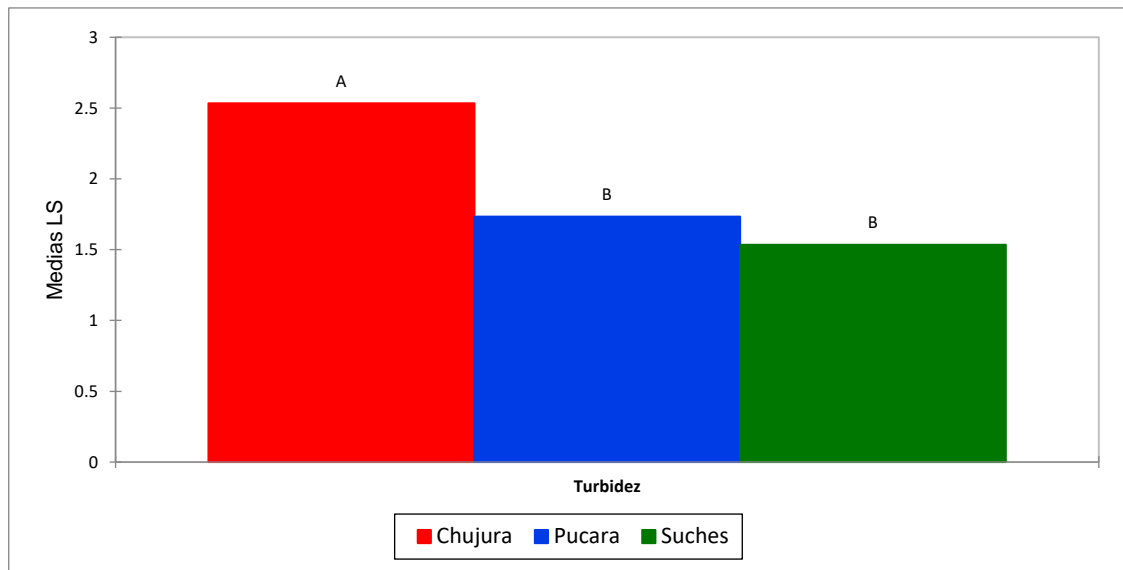
Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de la turbidez del agua subterránea de consumo humano, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 2.53 UNT, seguido del sector Pucara donde la media fue de 1.73 UNT, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 1.53 UNT; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en los tres sectores se obtuvieron valores de

turbidez por debajo de lo indicado en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua respecto a este parámetro se halla dentro de lo permisible.

Figura 4

Comparaciones con la prueba de Tukey para turbidez en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.002$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Chujura la turbidez es superior al resto, en segundo lugar, se ubicaron los sectores Pucara y Suches ambos con menor valor de turbidez.

En el estudio realizado por Calsín, (2016) reporto valores normales. De la misma manera Tacuri, (2019) indica que los valores de turbidez no exceden el LMP en los pozos de la ciudad de Juliaca. Al contrario Trinelli et al., (2018) menciona valores elevados con respecto a CCA en la provincia de Chaco, Argentina.



Para este parámetro la importancia de la medición es dada por Legua et al., (2016), puesto que una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos patógenos de la acción desinfectante del cloro o la radiación ultravioleta. Por tanto, las muestras de agua del presente estudio, al no presentar valores elevados de turbidez podrían ser potabilizadas por dichas sustancias.

Tabla 6

Dureza total (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

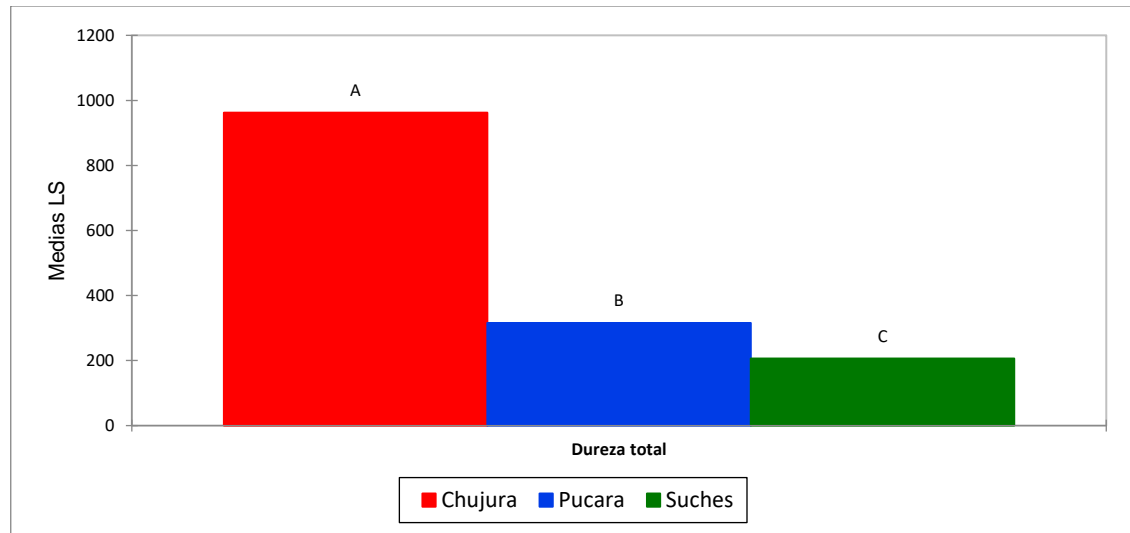
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	210	310	954
Julio	220	320	987
Agosto	190	315	945
Media	206.67	315.00	962.00
D.E.	15.28	5.00	22.11

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de la dureza total del agua subterránea de consumo humano, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 962 mg/L, seguido del sector Pucara donde la media fue de 315 mg/L, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 206.67 mg/L; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en el sector de Chujura se obtuvieron las tres muestras por encima de lo indicado en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua respecto a este parámetro no se halla dentro de lo permisible para dicho sector, mientras que para Suches y Pucara se halla dentro de lo permisible.

Figura 5

Comparaciones con prueba de Tukey para dureza total en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.0001$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Chujura la dureza total es superior al resto, en segundo lugar, se ubicó el sector Pucara y Suches en tercer lugar, ambos con menor valor de dureza total.

Por su parte Trinelli et al., (2018) con respecto a la dureza en aguas subterráneas indico valores elevados que incluso llegaron a triplicar lo establecido por la CCA en Argentina. Por otro lado Curo, (2015) obtuvo valores bajos de 264.4 mg/L en la localidad de Collana II y valores altos de 408.3 mg/L en Collana I ambos dentro de los LMP; a causa de las condiciones del clima se observaron variaciones en la época de lluvias escasas y abundantes.



Respecto a este parámetro Tacuri, (2019) en la ciudad de Juliaca reporto un nivel elevado 1128 mg/L con un nivel de riesgo alto. Igualmente Belizario, (2011) en el Distrito de Coata la dureza promedio de ocho muestras fue de 209.88 mg/L a 1595.88 mg/L de las cuales siete superan el valor recomendado por la OMS. Considerando que el sector de Chujura superó el valor de referencia, se debe considerar los riesgos de su utilización para el consumo humano.

Tal es así que Valenzuela and Yucra, (2022) en muestras de agua subterránea del parque industrial Taparachi del distrito de Juliaca, halló un valor de dureza total de 573 mg/L, por encima del valor indicado en la normatividad, es decir que algunos pozos en esta zona contienen una dureza total considerable. De manera similar Calsín, (2016) reporta valores promedio de 628.91 mg/L en aguas de pozo en zona de Taparachi III, mientras que en pozos tubulares se encontraron valores inferiores a 500 mg/L.

Según la OMS la dureza alta del agua no trae consecuencias a la salud pública, puesto que se considera tolerable para el consumidor valores de hasta 500 mg/L. Hay que mencionar además a Esparza et al., (2020) que la dureza del agua no se encuentra relacionada a la salud, sin embargo presentan un sabor desagradable, valores elevados forman capas de sulfatos y carbonatos en los utensilios dificultando la buena cocción de alimentos.



Tabla 7

Sólidos disueltos totales (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

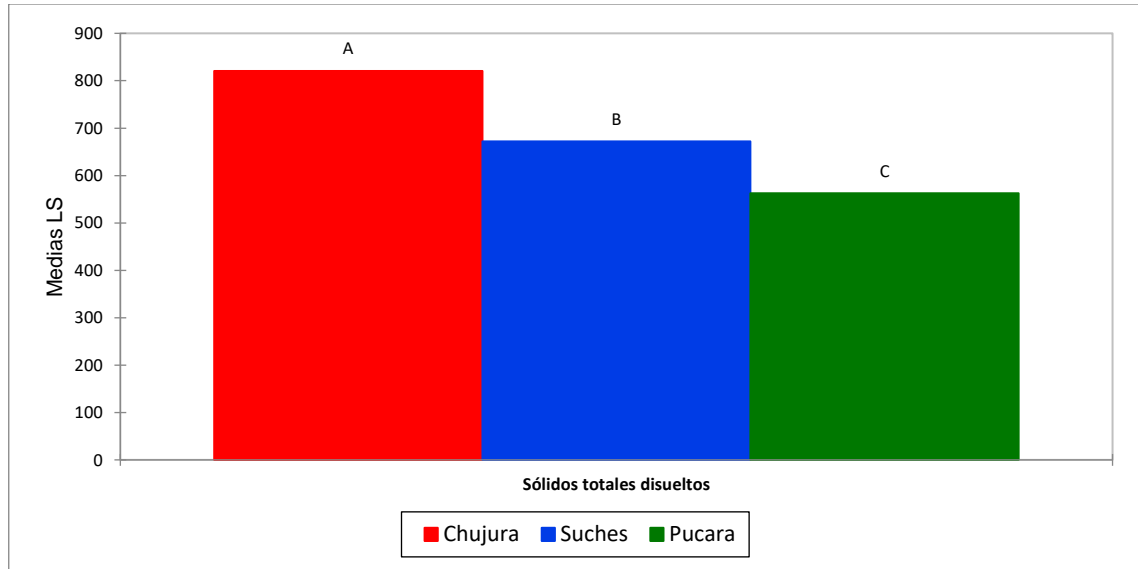
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	625	524	852
Julio	680	574	798
Agosto	710	589	812
Media	671.67	562.33	820.67
D.E.	43.11	34.03	28.02

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de los sólidos disueltos totales del agua subterránea de consumo humano, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 820.67 mg/L, seguido del sector Pucara donde la media fue de 562.33 mg/L, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 671.67 mg/L; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en los tres sectores el agua presenta valores dentro lo establecido en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua respecto a este parámetro se halla dentro de lo permisible.

Figura 6

Comparaciones con prueba de Tukey para sólidos disueltos totales en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.000$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Chujura los sólidos disueltos totales es superior al resto, en segundo lugar, se ubicó el sector Suches y en tercer lugar Pucara, ambos con menor valor de sólidos disueltos totales.

En el presente estudio se obtuvo valores relativamente elevados, si bien estuvieron por debajo de lo señalado en la normatividad, se pudo observar en el sector de Chujura valores muy cercanos a dicho límite. Citando a (Calsín, 2016) da a conocer que en la zona de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca los valores de sólidos totales disueltos no exceden los límites permitidos siendo apta para su consumo. De igual modo (Belizario, 2011) reporta en Coata un promedio de 69.20 mg/L y 74.36 mg/L respectivamente dentro de los



LMP establecidos. También (Tacuri, 2019) indica que los sólidos totales disueltos en Juliaca se encuentran dentro del rango permitido.

Esta situación también fue evidenciada por (Brousett et al., 2018), quien indica que en aguas con niveles elevados de salinidad también se obtuvo valores altos de sólidos totales suspendidos. Como también Trinelli et al. (2018) halló muestras que superaron los valores referenciales para este parámetro, lo cual requiere algún tipo de tratamiento previo para su consumo directo.

La importancia de medir este parámetro es que confiere al agua un sabor desagradable, además de interferir con el proceso de tratamiento y representar un riesgo potencial para la salud cuando contienen ciertos contaminantes como metales pesados o pesticidas (Legua et al., 2016). El efecto de los sólidos totales elevados pueden llegar a ocasionar lesiones a nivel digestivo y renal a los consumidores (Tacuri, 2019). Además estos pueden jugar un rol importante en la reacción fisiológica contraproducente en el usuario ocasional (Belizario, 2011).

Tabla 8

pH (unidades) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

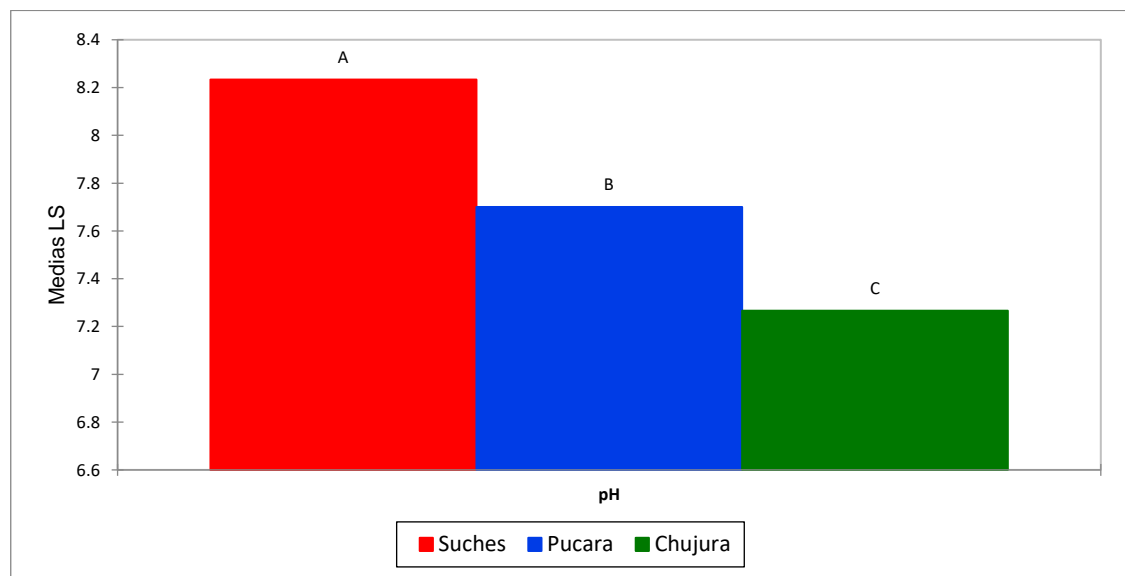
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	8.4	7.8	7.1
Julio	8.2	7.6	7.3
Agosto	8.1	7.7	7.4
Media	8.23	7.70	7.27
D.E.	0.15	0.10	0.15

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de los valores de pH del agua subterránea de consumo humano, en el sector de Suches se halló la mayor media con 8.23 unidades, seguido del sector Pucara donde la media fue de 7.70 unidades, finalmente en el sector Chujura se obtuvo una media de 7.27 unidades; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en los tres sectores el agua presenta valores dentro lo establecido en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua respecto a este parámetro se halla dentro de lo permisible.

Figura 7

Comparaciones con prueba de Tukey para pH en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.000$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Suches el pH es superior al resto, en segundo lugar, se ubicó el sector Pucara y en tercer lugar Chujura, ambos con menor valor de pH del agua.



Al respecto Mamani, (2019) señala que en la cuenca Suches, halló valores de pH relativamente bajos indicando cierto nivel de acidez. Al igual que Calsín, (2016) señala que en la zona de Taparachi III el pH se encontró dentro de los valores normales. Algo similar ocurre en el presente estudio donde se hallaron valores dentro del rango de normalidad sugerido por la normatividad. Mientras que Castillo et al. (2019) reporta niveles de pH ligeramente alcalinos, básicamente atribuibles a presencia de sales.

El resultado de Belizario, (2011) en el distrito de Coata fue de 7.03 a 8.03 unidades siendo ligeramente alcalinas por encima del límite establecido por la OMS, que es de 7 unidades. A su vez Tacuri, (2019) afirma que el valor de pH recomendando es de 6.5 a 9.5 para su consumo. En México Esparza et al., (2020) obtuvo un pH de 7 en las aguas subterráneas.

Sin embargo, Trinelli et al., (2018) encontró un pH de alcalino en aguas subterráneas de Argentina. De manera similar Curo, (2015) menciona un pH de 7.8 en la comunidad de Yasin, 6.9 a 7.3 en promedio para la comunidad de Faon ligeramente alcalinas es decir, dentro de los límites permitidos según el D.S.Nº 031-2010.

Mientras que otro estudio enfatiza que variaciones del pH puede tener efectos adversos sobre la salud, incluyendo irritaciones en la piel y los ojos y problemas gastrointestinales (Garcés and Pacheco, 2020); por lo que respecto al mismo en los tres sectores no se presentaron muestras que superen este valor referencial.



Tabla 9

Cloruros (mg/L) en agua subterránea de consumo humano Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

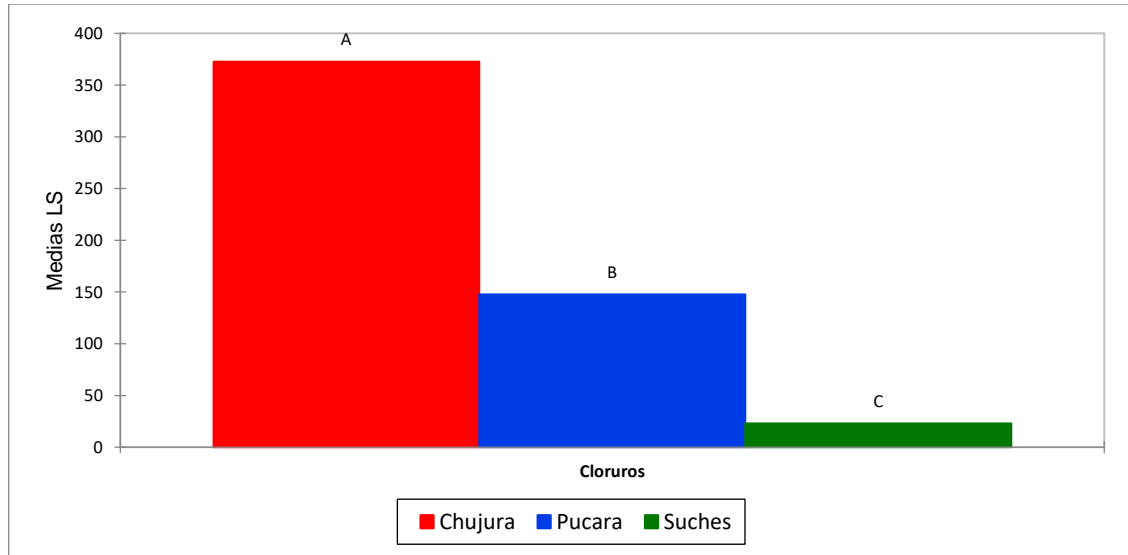
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	20.52	151.23	364.21
Julio	25.16	140.21	374.54
Agosto	23.47	151.2	378.65
Media	23.05	147.55	372.47
D.E.	2.35	6.35	7.44

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de los valores de cloruros del agua subterránea de consumo humano, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 372.47 mg/L, seguido del sector Pucara donde la media fue de 147.55 mg/L, finalmente en el sector Suches con una media de 23.05 mg/L; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en dos distritos como son Suches y Pucara este parámetro se halla dentro de lo normal, según lo establecido en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), mientras que el sector Chujura presentó valores por encima de los establecido.

Figura 8

Comparaciones con prueba de Tukey para cloruros en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.000$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Chujura el contenido de cloruros es superior al resto, en segundo lugar, se ubicó el sector Pucara y en tercer lugar Suches, ambos con menores valores de cloruros.

Para este parámetro menciona Tacuri, (2019) que los valores de cloruros fue de 511.84 mg/L por ende elevados en la ciudad de Juliaca; de manera similar en las muestras de agua del sector Chujura en donde se halló valores superiores a lo reportado en la normatividad vigente. En cambio Calsín, (2016) indica que los datos de cloruros se encontraron dentro de los valores indicados en la zona de Taparachi III con mayor concentración en pozos artesanales.



Además Belizario,(2011) expresa que algunas muestras fueron elevadas con valores promedio bajo de 21.88 mg/L y alto 634.73 mg/L del total de muestras analizadas. No obstante Curo, (2015) manifiesta que en la comunidad de Faon con un valor alto 168.1 mg/L y Yasin con un valor mínimo de 91.6 mg/L de promedio respectivamente normales, sin embargo se observó una variación en la concentración de cloruro siendo mayor en el tiempo de lluvia escasa. Así también Trinelli et al., (2018) indica valores elevados en Argentina, atribuible a proceso de contaminación de las aguas de los pozos por acción del hombre.

De acuerdo con Sánchez et al., (2020) los cloruros no son tóxicos para los humanos en concentraciones bajas, niveles elevados pueden dar lugar a un sabor salado en el agua. por lo que el agua de los pozos subterráneos motivo del estudio, presentarían perjuicios organolépticos que de otro tipo. De modo similar Belizario, (2011) menciona que los cloruros no causan daño a la salud, hay que destacar que mayor concentración de 250 mg/L puede ser percibido en el sabor y no en alguna afección fisiológica.

Tabla 10

Sulfatos (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

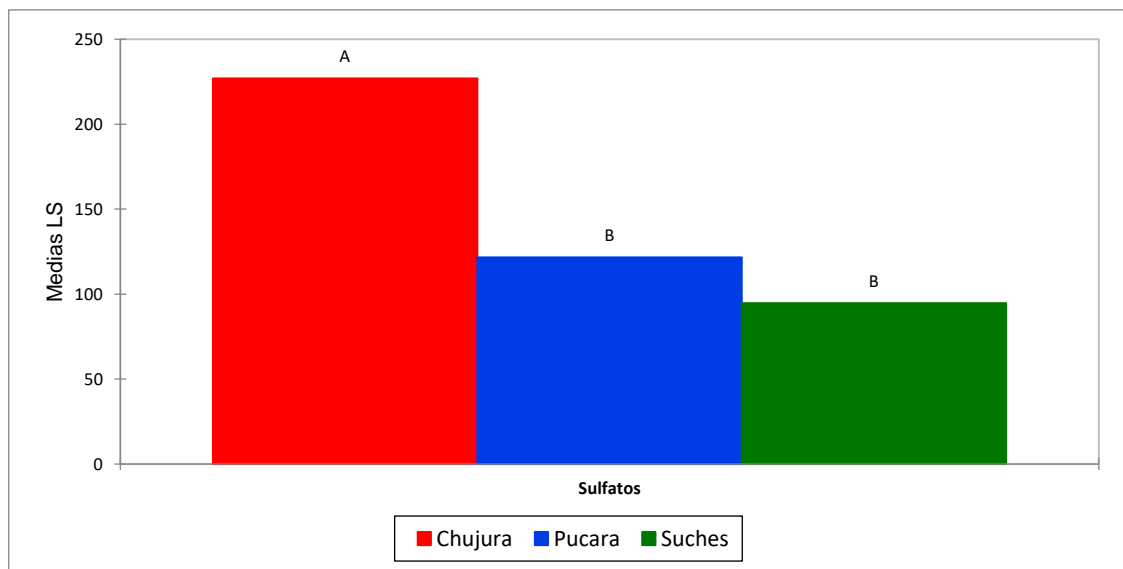
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	85	142	205
Julio	98	125	220
Agosto	101	98	256
Media	94.67	121.67	227.00
D.E.	8.50	22.19	26.21

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de los valores de sulfatos del agua subterránea de consumo humano en el Distrito de Caracoto, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 227.00 mg/L, seguido del sector Pucara donde la media fue de 121.67 mg/L, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 94.67 mg/L; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en dos distritos como son Suches y Pucara este parámetro se halla dentro de lo normal, según lo establecido en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), mientras que el sector Chujura presentó una muestra del mes de mayo por encima de los establecido, por lo que esta agua respecto a este parámetro no se halla dentro de lo permisible para este sector.

Figura 9

Comparaciones con prueba de Tukey para sulfatos en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.000$, indicando que por lo menos uno de los sectores



presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Chujura el contenido de sulfatos es superior al resto, en segundo lugar, se ubicaron el sector Pucara y Suches, ambos con menores valores de sulfatos.

Según Tacuri, (2019) las aguas de pozos artesanales en la ciudad de Juliaca tienen una concentración de 397.60 mg/L de sulfatos por encima de los valores normales; mientras que Calsín, (2016) reporto valores elevados en aguas de pozo y en cuanto a pozos tubulares estos valores se mantienen dentro de lo normal en la zona de Taparachi III.

A su vez Belizario, (2011) describe valores promedios máximos de 266 mg/L y mínimos de 36.0 mg/L en las aguas subterráneas donde el 65% corresponden a valores límite y el 25% valores elevados dentro del LMP además el 12.5% se encuentra por encima de LMP. Por otro lado Curo, (2015) obtuvo valores de 123.7 mg/L en la comunidad de Collana I y 46.0 mg/L en la comunidad de Yasin respectivamente dentro de LMP en el Distrito de Huata. Pero Trinelli et al.,(2018) indica que en Argentina los valores de sulfatos con elevados.

Los niveles elevados de sulfatos en el agua pueden causar efectos laxantes y un sabor desagradable (Curo, 2015; Soriano, 2018). Así mismo, pueden ocasionar diarrea y deshidratación en niños, incluso valores mayores a 400 mg/L no son aptas para cocinar alimentos. Por lo que esta condición se presenta para el sector de Chujura, donde una muestra superó el límite recomendado según la normatividad.



Tabla 11

Nitratos (mg/L) en agua subterránea de consumo humano en Suches, Pucara, Chujura del distrito de Caracoto del 2024.

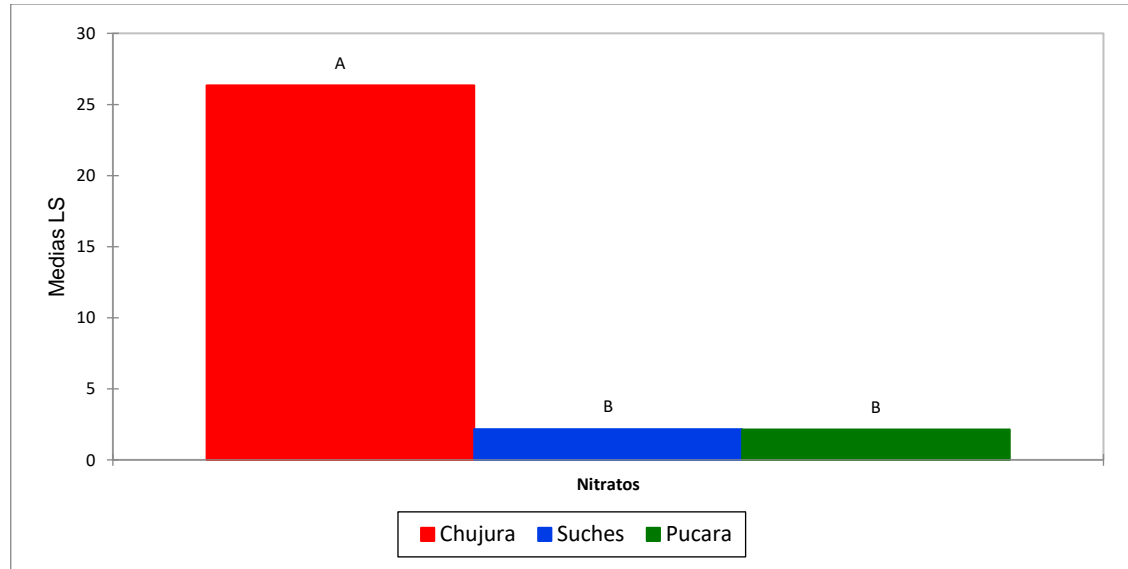
Meses	Sectores		
	Suches	Pucara	Chujura
Junio	2.4	1.7	28
Julio	2.2	2.4	26
Agosto	1.9	2.3	25
Media	2.17	2.13	26.33
D.E.	0.25	0.38	1.53

Nota: En base a resultados de laboratorio

Se exponen los resultados de los valores de nitratos del agua subterránea de consumo humano, en el sector de Chujura se halló la mayor media con 26.33 mg/L, seguido del sector Pucara donde la media fue de 2.13 mg/L, finalmente en el sector Suches se obtuvo una media de 2.17 mg/L; contrastando los valores obtenidos en los tres sectores del distrito de Caracoto, se pone en evidencia que en los tres distritos este parámetro se halla dentro de lo normal, según lo establecido en la normatividad vigente (D.S. 031-2010-SA), por lo que esta agua respecto a este parámetro no se halla dentro de lo permisible.

Figura 10

Comparaciones con prueba de Tukey para nitratos en agua subterránea de consumo humano.



Se muestra el resultado de la aplicación de la prueba de rango múltiple de Tukey, previo al mismo se realizó el análisis de la varianza, en donde se obtuvo significancia estadística (Anexo 2) con una $p=0.000$, indicando que por lo menos uno de los sectores presentó diferencia con el resto. La prueba de Tukey indica que para el sector de Chujura el contenido de nitratos es superior al resto, en segundo lugar, se ubicaron los sectores Suches y Pucara, ambos con menores valores de nitratos.

Desde la posición de (Calsín, 2016) en la zona de Taparachi III los nitratos se encontraron dentro de los valores normales. De la misma manera Belizario, (2011) reporta valores negativos de nitratos en el distrito de Coata asumiendo que no existe su presencia. Por otro lado Alcivar et al., (2017) en la provincia de Guayas determino valores promedio de 10.45 mg/L considerando como elevados.

Según DIGESA, (2011) señala que los nitratos son el resultado de la descomposición de materia orgánica y la actividad agrícola, incluyendo el uso de



fertilizantes nitrogenados, por lo que los resultados del presente estudio evidencian que las aguas de los pozos no presentan esta condición, puesto que los valores estuvieron por debajo de lo señalado en la normatividad. Además Alcivar et al., (2017) indica que en las aguas subterráneas tiende a subir el nivel de concentración de nitratos, por el uso excesivo de fertilizantes en la agricultura.

4.2.1. Prueba de Hipótesis

Tabla 12

Prueba de hipótesis según parámetro del agua, contrastado contra el valor de referencia según norma técnica.

Parámetro	T-valor	p	Interpretación
Coliformes totales	5.433	0.000	Se acepta H_a
Coliformes termotolerantes	4.499	0.001	Se acepta H_a
Conductividad eléctrica	-8.693	1.000	Se rechaza H_a
Turbidez	-18.682	1.000	Se rechaza H_a
Dureza total	-0.046	0.518	Se rechaza H_a
Sólidos disueltos totales	-8.118	1.000	Se rechaza H_a
Ph	-5.277	1.000	Se rechaza H_a
Cloruros	-1.349	0.893	Se rechaza H_a
Sulfatos	-4.861	0.999	Se rechaza H_a
Nitratos	-9.850	1.000	Se rechaza H_a

Nota: Los valores de $p < 0.05$ es significativo



Las pruebas de hipótesis contrastadas fueron:

Ha: la calidad bacteriológica y los parámetros fisicoquímicos de agua subterránea de los tres sectores del distrito de Caracoto exceden los límites máximos permisibles.

Ho: la calidad bacteriológica y los parámetros fisicoquímicos de agua subterránea de los tres sectores del distrito de Caracoto no exceden los límites máximos permisibles.

Considerando que se obtuvieron que la prueba de T de Student, determinaron que los parámetros de coliformes totales y fecales fueron significativos ($p < 0.05$), se acepta la hipótesis alterna.



V. CONCLUSIONES

- Se identificó que la calidad bacteriológica del agua subterránea de consumo humano en el distrito de Caracoto no es apta para consumo humano, debido a la presencia de coliformes totales y termotolerantes, los parámetros fisicoquímicos estuvieron dentro de lo permitido, excepto para el sector Chujura donde la dureza total, cloruros y sulfatos se hallaron por encima de lo normado.
- La evaluación de la calidad bacteriológica del agua subterránea de consumo humano fue evaluada en tres sectores del distrito de Caracoto, mostró coliformes totales de 33.33NMP/100 ml en Suches, 141.67NMP/100 ml en Pucara, y 167.67NMP/100 ml en Chujura, y coliformes termotolerantes de 5.67NMP/100 ml en Suches, 43NMP/100 ml en Pucara y 53NMP/100 ml en Chujura, los cuales exceden la normatividad vigente, por tanto, no es apta para el consumo humano directo.
- La evaluación de los parámetros fisicoquímicos en términos de conductividad eléctrica para el sector de Suches es 229.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Pucara 573.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y Chujura 954.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$; en términos de turbidez para Suches se registró 1.53 UNT, Pucara 1.75 UNT y Chujura 2.53 UNT, respecto a la dureza total para Suches alcanzo 206.67 mg/L, Pucara 315.00 mg/L y Chujura 962.00; además solidos totales disueltos en Suches se registró 671.67 mg/L, Pucara 562.67 mg/L, Chujura 820.67 mg/L; asimismo los valores de pH en Suches 8.23 unidades, Pucara 7.70 unidades y Chujura 7.27 unidades; respecto a cloruros Suches presento 23.05 mg/L, Pucara 147.55 mg/L y Chujura 372.21 mg/L; en cuanto a sulfatos en Suches se registró 94.67 mg/L, Pucara 121.67mg/L y Chujura 227.00 mg/L; por otro lado respecto a nitratos en Suches alcanzo 2,17mg/L, Pucara 2.13mg/L y Chujura 26.33 mg/L; los tres sectores se encuentran dentro del rango permitido, mientras que en el sector de



Chujura la dureza total es de 962 mg/L, cloruros es de 372.47 mg/L y sulfatos es de 227 mg/L, superiores a la normativa vigente.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación sobre la calidad del agua en el distrito de Caracoto en diferentes puntos y periodos climatológicos, para complementar la información obtenida en este estudio.
- A las autoridades de salud, realizar continuas evaluaciones de la calidad del agua de pozos destinadas para el consumo humano.
- A los pobladores de los sectores de estudio, utilizar filtros de agua que eliminen bacterias, virus y otros contaminantes.
- A la municipalidad realizar continuas capacitaciones en métodos de desinfección del agua para consumo humano, como es la aplicación de pastillas de cloro, hervir el agua, entre otras.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcivar, J., Mariscal, W., Sorroza, N., Villacres, R., Garcia, F., and Mariscal, R. (2017). Evaluacion fisico-quimica y microbiologica de la calidad del agua de pozos. *Dominio de Las Ciencias*, 3(4), 1044–1059.
- Anduro, J., Cantu, E., Campas, O., Lopez, J., and Sanchez, D. (2017). Diagnóstico De La Calidad Sanitaria Del Agua De Pozo En Comunidades Del Sur De Sonora, México. *RESPYN Revista de Salud Pública y Nutrición*, 16(1), 1–8. <https://doi.org/10.29105/respyn16.1-1>
- Apolinario, B., and Araujo, M. (2018). *Evaluación de la calidad del agua subterránea en 12 asentamientos humanos en los distrito de Calleria y Yarinacocha, Provincia Coronel Portillo, Departamento Ucayali, 2017*. Universidad Nacional de Ucayali.
- Arroyo, M. (2015). *Importancia de la calidad del agua y su manejo*. 1–3. http://ucienegam.mx/wp-content/uploads/2017/08-Doc/Servicios Escolares/Alumnos/Optativas-Febrero/Importancia_de_la_calidad_del_agua_y_su_manejo.pdf
- Baque, R., Simba, L., Gonzales, B., Suatunce, P., Diaz, E., and Cadme, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(20), 109–117. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>
- Belizario, E. (2011). *Evaluacion de la calidad de agua subterranea para fines de consumo humano de la comunidad Carata del Distrito de Coata*.
- Brousett, M., Chambi, A., Mollocondo, M., Aguilar, L., and Lujano, E. (2018). *Evaluación Físico-Química y Microbiológica de Agua para Consumo Humano Puno-Perú*. 15, 47–68.
- Calsín, K. (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*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Castillo, D., Tuesta, L., and Salazar, S. (2022). Evaluación de la calidad del agua subterránea durante la pandemia por covid-19 en la universidad nacional de



- trujillo, Perú. *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 24(2), 219–234. <https://doi.org/10.36390/telos242.02>
- Castillo, J., Arbolaes, E., Iglesias, F., Quiñonez, R., Cepero, O., Silveira, E., and Gutierrez, D. (2010). Análisis físico-químico de aguas de pozo de la provincia de Villa Clara. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 11(3), 1–7.
- Castillo, S., Barrezueta, S., and Arvito, J. (2019). Evaluación De La Calidad De Aguas Subterránea De La Parroquia La Peaña, Provincia El Oro, Ecuador. *Ciencia Unemi*, 12(31), 64–73. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol12iss31.2019pp64-73p>
- Chibinda, C., Arada, M., and Pérez, N. (2017). Characterization for physicochemical methods and evaluation of the quantitative impact of the waters of the Well the Limestone Quarryn. *Rev. Cubana Quím.*, 29(2), 303–321.
- Chulluncuy, N. (2015). *Tratamiento de agua para consumo humano*. 29, 153–224. <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/MANUALI/TOMOI/seis.pdf%5Cnhttp://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/5/CDAM000012-5.pdf>
- Collazo, P. (2015). Bases conceptuales y muestreo de la calidad del agua. In *Evento en marco del II encuentro nacional sobre gestión de información asociada al agua y red básica nacional de monitoreo de aguas subterráneas* (p. 62).
- Curo, M. (2015). Calidad Bacteriológica Y Físicoquímica Del Agua De Pozos Con Fines De Consumo Humano En El Distrito De Huata – Puno, 2016. In *Tesis UNA*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5302/Condori_Mamani_Meyner_Uriel_Ruelas_Yanque_Julio.pdf?sequence=1%0Ahttp://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2816/Luna_Mamani_Elizabeth.pdf?sequence=1
- Díaz, B., Esteller, M., and Garrido, S. (2011). Calidad físicoquímica y Microbiológica del agua en parques acuáticos. *Hidrobiológica*, 21(1), 49–62.
- DIGESA. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano* (p. 46). Ministerio de Salud. <https://doi.org/10.1130/micro18-p20>



- Escandón, C., and Cáceres, M. (2022). Análisis de la calidad del agua mediante parámetros físicos químicos y macroinvertebrados bentónicos, presentes en la microcuenca del río San Francisco-Gualaceo. In *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Esparza, J., Castillo, L., Zavala, D., Carrillo, M., Carranza, C., and Martinez, D. (2020). Calidad del agua de pozo de una comunidad tének en la Huasteca Potosina, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3), 1–9. <https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2736>
- Fernandez, M. (2007). Evaluación de la calidad físico- química y bacteriológica del agua subterránea en pozos criollos del municipio de Moa. *Water*, 23(4), 1–11.
- Garcés, D., and Pacheco, L. (2020). *Análisis de la calidad del agua a partir de la correlación entre variables fisicoquímicas y macroinvertebrados en tres sectores del río Caney, Restrepo – Meta*. Universidad Santo tomás.
- HACH. (2000). *Manual de analisis de agua* (Issue 970).
- Inquilla, C. (2020). Calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas del río Coata, Puno 2018. In *Universidad Nacional del Altiplano*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16266>
- JICA. (2003). *Pruebas de la calidad del agua de los pozos*.
- Legua, J., Gálvez, E., Ramos, R., Vélez, Y., and Fernández, F. (2016). Evaluación de las fuentes de aguas subterráneas y la situación actual de su almacenamiento y calidad en el distrito de Vegueta 2012 - 2013. *Big Bang Faustiniiano*, 5(4), 44–48. <https://doi.org/10.51431/bbf.v5i4.37>
- Mamani, M. (2019). Parámetros fisicoquímicos, metales pesados (as y pb), bacteriológicos y alternativas de saneamiento ambiental de fuentes de agua de la comunidad suches, distrito caracoto, provincia san román, región puno, 2018. In *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Martinez, J. (2017). *Calidad fisicoquimica y bacteriologica del agua de consumo humano del distrito de Saman, Provincia de Azangaro-Puno*.
- Mejia, L., Zelada, M., Torres, L., and Quispe, J. (2021). Análisis microbiológico del agua



- de consumo humano del Centro Poblado Pachapiriana, Provincia de Jaén, Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 4(2), 66. <https://doi.org/10.25127/ucni.v4i2.729>
- Mendez, R., Pacheco, J., Castillo, E., Cabrera, A., Vazquez, E., and Cabañas, D. (2015). Calidad microbologica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatan , Mexico. *Nuevo Mexico*, 19(1), 51–61. <http://redi.uady.mx/bitstream/handle/123456789/2272/document%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- MINAM. (2018). *Manual de buenas prácticas en la investigación de sitios contaminados: Muestreo de aguas subterráneas* (M. del Ambiente (ed.); Primera).
- MINSA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA . *Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud*, 39. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- NTP. (2016). *Norma Técnica Peruana, NTP-ISO5667-3. Lima 27*.
- OMS. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, 4, 608. <https://bitly.co/7FYT>
- Ortíz, H. (2015). *Evaluación de la calidad microbiológicas y fisicoquímica en aguas de pozos subterráneos del Centro Poblado Viñani - Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Provincia Tacna 2015*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Oscoco, G. (2019). *Determinación de la calidad de agua subterránea para consumo humano*. Universidad Científica del Sur.
- Quispe, L. (1994). *Diagnóstico de aguas subterráneas* (INRENA (ed.); Primera).
- Ramírez, E., Robles, E., Sainz, G., Ayala, R., and Campoy, E. (2009). Calidad microbiológica del acuífero de Zacatepec, Morelos, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(4), 247–255.
- Robles, E., Ramírez, E., Durán, A., Martínez, M., and Gonzáles, M. (2013). Calidad bacteriológica y fisicoquímica del agua del acuífero Tepalcingo-Axochiapan,



- Morelos, México. *Avances En Ciencias e Ingeniería*, 4(1), 11.
- Rodriguez, C., Asmundis, C., Ayala, M., and Arzu, O. (2018). Presencia de indicadores microbiológicos en agua para consumo humano en San Cosme (Corrientes, Argentina). *Revista Veterinaria*, 29(1), 9. <https://doi.org/10.30972/vet.2912779>
- Salas, J., Maraver, F., Rodriguez, L., Saenz, M., Vitoria, I., and Moreno, L. (2020). importancia del consumo de agua en salud y la prevencion de la enfermedad: situacion actual. *Nutricion Hospitalaria*, 37(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.20960/nh.03160>
- Sánchez, R., Benavides, C., Chaves, M., and Quirós, J. (2020). Calidad del agua para consumo humano en una comunidad rural: caso Corral de Piedra, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 33, 3–16. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4165>
- Sonora, D. E., Jordan, A., Armando, J., Soto, C., Uriel, E., Baypoli, C., Nydia, O., Cervantes, L., Machado, S., Isabel, D., and Anacleto, F. F. (2017). *Diagnóstico de la calidad sanitaria del agua de pozo en comunidades del sur*. 16(1), 1–8.
- Soriano, M. (2018). *Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea utilizada para el consumo humano en el Centro Poblado Pata Pata - 2018*. Universidad Privada del Norte.
- Sotomayor, F. (2013). Determinación de la calidad microbiológica de las aguas de pozo artesiano de distritos de los departamentos Central, Cordillera y municipio Capital. *Memorias Del Instituto de Investigaciones En Ciencias de La Salud*, 11(1), 5–14. <http://scielo.iics.una.py/pdf/iics/v11n1/v11n1a02.pdf>
- SUNASS. (2003). *Análisis de la calidad del agua potable en las empresas prestadoras del Perú: 1995-2003* (C. Carlos (ed.); Primera ed). Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.
- Tacuri, R. (2019). *Determinacion de la calidad de agua de pozos artesianos y sus aspectos ambientales asociados, Juliaca, Puno, 2018*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8842/UPMtaror.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- Tarqui, C., Alvarez, D., Gomes, G., Valenzuela, R., Fernandez, I., and Espinoza, P. (2016). Calidad bacteriológica del agua para consumo en tres regiones del Peru. *Revista de Salud Publica*, 18(6), 913–925. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n6.55008>
- Trinelli, M., Mallou, F., Paz González, M., Kassisse, Y., Rodríguez, Á., Casullo, M., Hanela, S., Cruz, M., Moundiroff, I., Mujica, C., Marquina, L., Vilches, M., Angelini, G., Romero, E., Iriel, A., Docampo, M., Lelli, D., and Rosi, P. (2018). *Calidad de Agua para Consumo en tres Localidades de la Provincia del Chaco, Argentina*. 4, 1–9.
- Urseler, N., Bachetti, R., Damilano, G., Morgante, V., Ingaramo, R., Saino, V., and Morgante, C. (2019). Calidad microbiológica y usos del agua subterránea en establecimientos agropecuarios del centro - sur de Córdoba, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 839–848. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.06>
- Valderrama, E., Ramirez, E., Ayala, R., Duran, A., and Sainz, M. (2010). Calidad del agua de tres pozos de la zona centro del acuífero Cuautla–Yautepec, Morelos, México. *Biocyt*, 3(1), 159–175.
- Valenzuela, R., and Yucra, Y. (2022). Evaluación de la calidad de agua subterránea del Parque Industrial Taparachi del distrito de Juliaca. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica*, 3, 67–72. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i4.8>
- Vargas, M., Fernandez, J., and Mendoza, L. (2019). Determinación de la calidad microbiológica de las aguas termales de Yura durante los meses de Septiembre a Diciembre, 2017. *Veritas*, 20(1), 93. <https://doi.org/10.35286/veritas.v20i1.231>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz básica de datos

Sector	Suches			Pucara			Chujura		
	Junio	Julio	Agosto	Junio	Julio	Agosto	Junio	Julio	Agosto
Parámetros	250	221	218	527	610	584	962	915	987
Conductividad	250	221	218	527	610	584	962	915	987
Turbidez	1.3	1.5	1.8	1.5	1.8	1.9	2.5	2.4	2.7
Dureza total	210	220	190	310	320	315	954	987	945
Sólidos totales disueltos	625	680	710	524	574	589	852	798	812
pH	8.4	8.2	8.1	7.8	7.6	7.7	7.1	7.3	7.4
Cloruros	20.52	25.16	23.47	151.2 3	140.2 1	151.2	364.2 1	374.5 4	378.65
Sulfatos	85	98	101	142	125	98	205	220	256
Nitratos	2.4	2.2	1.9	1.7	2.4	2.3	28	26	25
Coliformes totales	26	34	40	165	120	140	180	165	158
Coliformes termotolerantes	5	3	9	36	38	55	60	54	45

ANEXO 2: Análisis de varianza

A. Coliformes totales

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	30457.556	15228.778	66.793	< 0.0001
Error	6	1368.000	228.000		
Total	8	31825.556			



B. Coliformes termotolerantes

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	3734.222	1867.111	31.947	0.001
Error	6	350.667	58.444		
Total	8	4084.889			

C. Conductividad eléctrica

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	789122.000	394561.000	342.997	< 0.0001
Error	6	6902.000	1150.333		
Total	8	796024.000			

D. Turbidez

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	1.680	0.840	19.385	0.002
Error	6	0.260	0.043		
Total	8	1.940			

E. Dureza total

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	1000873.556	500436.778	2008.890	< 0.0001
Error	6	1494.667	249.111		
Total	8	1002368.222			



F. Sólidos disueltos totales

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	100890.889	50445.444	39.804	0.000
Error	6	7604.000	1267.333		
Total	8	108494.889			

G. pH

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	1.407	0.703	37.235	0.000
Error	6	0.113	0.019		
Total	8	1.520			

H. Cloruros

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	188180.433	94090.217	2788.206	< 0.0001
Error	6	202.475	33.746		
Total	8	188382.908			

I. Sulfatos

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	29336.222	14668.111	35.157	0.000
Error	6	2503.333	417.222		
Total	8	31839.556			



J. Nitratos

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F
Sector	2	1169.669	584.834	690.749	< 0.0001
Error	6	5.080	0.847		
Total	8	1174.749			

ANEXO 3: Norma técnica (Decreto supremo MINSA)

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	Nº org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	Nº org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 /100 ml

Activar
Ve a Config



LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L^{-1}	1 000
8. Cloruros	$\text{mg Cl}^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
9. Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{2-} \text{ L}^{-1}$	250
10. Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500
11. Amoníaco	mg N L^{-1}	1,5
12. Hierro	mg Fe L^{-1}	0,3
13. Manganeseo	mg Mn L^{-1}	0,4
14. Aluminio	mg Al L^{-1}	0,2
15. Cobre	mg Cu L^{-1}	2,0
16. Zinc	mg Zn L^{-1}	3,0
17. Sodio	mg Na L^{-1}	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad



ANEXO 4: Constancia de ejecución de la investigación



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE MEDICINA HUMANA



CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, ENCARGADO DEL LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE LA FACULTAD DE MEDICINA HUMANA


HACE CONSTAR:

Que, **VERONICA CONDORI APAZA**, identificada con DNI 73609980 con código de estudiante N° 143480 de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNA - PUNO, quien ha realizado su Tesis titulada: "EVALUACION DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FISICOQUIMICO DE AGUA SUBTERRÁNEA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE CARACOTO", para optar el Título Profesional de Licenciado en Biología, realizado en el laboratorio de Microbiología y Parasitología de esta Facultad, en la fecha de 29 de mayo al 29 de agosto del 2024.

Se expide la presente a solicitud de la interesada, para los fines que estime conveniente.

Puno, 02 de septiembre del 2024




LIC. BALBINO LORGIO PALACIOS FRISANCHO
CBP: 2125

ANEXO 5: Panel fotográfico



Verificando las condiciones de un pozo



Realizando evaluación en un segundo pozo



**AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Por el presente documento, Yo Veronica Condozi Apaza
identificado con DNI 73609980 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Biología
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ CALIDAD BACTERIOLOGICA Y FISICOQUIMICO DE AGUA
SUBTERRANEA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE
CARACOTO ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de diciembre del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Veronica Condori Apaza
identificado con DNI 73609980 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Biología

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ CALIDAD BACTERIOLOGICA Y FISICOQUIMICA DE AGUA
SUBTERRANEA DE CONSUMO HUMANO EN EL DISTRITO DE
CARACOTO ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de diciembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella