

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**CALIDAD DEL AGUA DE LOS MANANTIALES TACUYO Y QAQALLAKA EN  
EL CENTRO POBLADO DE CULTA, ACORA, PUNO - 2025**

**PRESENTADA POR:**

**JEANMARCO STRAUS PAXI FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO – PERÚ**

**2025**



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



# 4.3%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 9 MAY 2025, 5:25 PM

## Similarity report

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

**IDENTICAL** 0.64%      **CHANGED TEXT** 3.66%

## Report #26299235

JEANMARCO STRAUS PAXI FLORES // CALIDAD DEL AGUA DE LOS MANANTIAL  
ES TACUYO Y QAQALLAKA EN EL CENTRO POBLADO DE CULTA, ACORA, PUNO -

2025 RESUMEN La escasez de agua de calidad en zonas rurales representa un reto crítico para la salud y el desarrollo comunitario, lo que motivó investigar con el objetivo de evaluar la calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culata, Ácora, Puno - 2025, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA. **6** La investigación adoptó un enfoque cuantitativo y descriptivo, con diseño no experimental y transversal. Se recolectaron muestras en puntos estratégicos: de Tacuyo se tomaron tres muestras de piletas de distribución en áreas pobladas, y en Qaqallaca se obtuvieron muestras en el origen y en zonas de captación directa por la comunidad. En el laboratorio se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados revelaron: pH promedio (Tacuyo 7.72, Qaqallaca 7.10); conductividad eléctrica (Tacuyo 171.3  $\mu$ S/cm, Qaqallaca 1030  $\mu$ S/cm); sólidos totales disueltos (Tacuyo 122.7 mg/L, Qaqallaca 566.3 mg/L); dureza total (Tacuyo 4.17 mg/L, Qaqallaca 28.92 mg/L); sodio (Tacuyo 9.31 mg/L, Qaqallaca 44.05 mg/L); cloruros (Tacuyo 73.5 mg/L, Qaqallaca 205.05 mg/L); sulfatos (Tacuyo 45.2 mg/L, Qaqallaca 48.90 mg/L); y nitratos (Tacuyo 18.30 mg/L, Qaqallaca 26.60 mg/L). En el análisis microbiológico se evidenció la ausencia

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

**CALIDAD DEL AGUA DE LOS MANANTIALES TACUYO Y QAQALLAKA EN  
EL CENTRO POBLADO DE CULTA, ACORA, PUNO - 2025**

**PRESENTADA POR:**

**JEANMARCO STRAUS PAXI FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:   
Dr. ESTEBAN SIDRO LEON APAZA.

PRIMER MIEMBRO

:   
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

:   
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:   
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental.

Líneas de Investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 16 de mayo del 2025.

## DEDICATORIA

A mis padres, Julio Cesar Paxi y Maximina Flores, pilares fundamentales de mi vida, por su amor inquebrantable, su apoyo incondicional y sus sacrificios silenciosos que convirtieron cada uno de mis sueños en posibles realidades. Gracias por enseñarme con el ejemplo el valor de la perseverancia y por ser mi refugio en cada desafío.

A mi pequeño hermano, cómplice de risas y complicidades, por su alegría contagiosa y por recordarme siempre la importancia de mirar hacia adelante con optimismo.

A mis amigos cercanos y familiares, compañeros de momentos inolvidables: sus consejos y palabras de aliento fueron el impulso que necesité para culminar esta etapa.

Esta tesis es el reflejo de todos ustedes. Gracias por ser mi inspiración, mi fuerza y mi razón para no detenerme.

## AGRADECIMIENTOS

A mis respetados docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental, quienes no solo compartieron conmigo conocimientos técnicos, sino que sembraron en mí la pasión por proteger nuestro planeta. Su sabiduría y dedicación han moldeado mi formación profesional y mi compromiso con el medio ambiente.

A mi asesor, M.Sc. Julio Wilfredo Cano Ojeda, por su guía meticulosa, sus aportes críticos y su disponibilidad para orientar cada etapa de esta investigación. Su experiencia fue fundamental para dar forma y solidez metodológica a este trabajo.

A los miembros del jurado evaluador: Dr. Esteban Isidro León Apaza, Mg. Katia Elizabeth Andrade Linarez, M.Sc. Fredy Aparicio Castillo Suaquita, por el tiempo dedicado a la revisión de este estudio y sus valiosas observaciones, que enriquecieron el rigor académico de la presente tesis.

Al personal del laboratorio, por brindar los recursos y espacios necesarios para desarrollar esta investigación.

A mis compañeros y amigos, por el intercambio de ideas, la colaboración en momentos clave y esos debates que afinaron mi perspectiva.

Finalmente, a mi familia, por su paciencia infinita y su apoyo inquebrantable, incluso cuando el proceso demandó sacrificios compartidos.

Este logro es, en esencia, un esfuerzo colectivo.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>18</b>
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	18
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	20
1.2.3. A NIVEL REGIONAL O LOCAL	22
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>24</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	24
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	<b>25</b>
2.1.1. EL AGUA COMO RECURSO NATURAL	25

2.1.2. MANANTIAL	25
2.1.3. CALIDAD FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA	25
2.1.4. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA	26
2.1.5. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA	26
2.1.6. PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA	28
2.1.7. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA	30
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>30</b>
2.2.1. EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA	30
2.2.2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA EL AGUA	30
2.2.3. FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA	31
2.2.4. MONITOREO Y GESTIÓN DEL AGUA	31
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>31</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>31</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	31
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	31
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>33</b>
<b>3.2 .POBLACIÓN Y MUESTRA</b>	<b>34</b>
3.2.1. POBLACIÓN	34
3.2.2. MUESTRA	35
<b>3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS</b>	<b>36</b>
3.3.1. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO	36
3.3.2. MATERIALES	41
<b>3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES</b>	<b>42</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>43</b>

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

<b>4.1. EXPOSICIÓN INTEGRAL Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS</b>	<b>46</b>
4.1.1. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS	47
4.1.2. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICO	51
4.1.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL D.S. N° 031-2010-SA	55
4.1.4. DIFERENCIACIÓN ENTRE CALIDAD DE AGUA DE LOS DOS MANANTIALES	58
<b>4.2. ANÁLISIS INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL AGUA: REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y COMPARATIVA</b>	<b>63</b>
4.2.1. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	63
4.2.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	73
<b>4.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS</b>	<b>74</b>
4.3.1. CONTRASTE DE HIPÓTESIS GENERAL	74
4.3.2. CONTRASTE DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1	75
4.3.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2	76
4.3.4. CONTRASTE DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3	76
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>86</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01:</b> Puntos de muestreo en coordenadas UTM	37
<b>Tabla 02:</b> Límite Máximo Permisible del D.S. 031-2010-SA. para datos obtenidos	39
<b>Tabla 03:</b> Operacionalización de variables	42
<b>Tabla 04:</b> Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las 3 muestras del manantial Tacuyo (piletas).	47
<b>Tabla 05:</b> Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las 3 muestras del manantial Qaqallaca (naciente principal).	49
<b>Tabla 06:</b> Resultados estadísticos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del manantial Tacuyo (piletas).	51
<b>Tabla 07:</b> Resultados estadísticos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del manantial Qaqallaca (naciente principal).	53
<b>Tabla 08:</b> Prueba Binomial Exacta para el cumplimiento de los LMPs del D.S. N° 031-2010-SA. del Manantial Tacuyo (piletas).	55
<b>Tabla 09:</b> Prueba Binomial Exacta para el cumplimiento de los LMPs del D.S. N° 031-2010-SA. del Manantial Qaqallaca (naciente principal).	57
<b>Tabla 10:</b> Prueba U de Mann-Whitney para Diferencias entre Manantiales	59
<b>Tabla 11:</b> Posibles causas ambientales / climáticas / antropogénicas para diferencias entre manantiales	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 01:</b> Localización de Manantiales Tacuyo y Qaqallaka	34
<b>Figura 02:</b> Mapa de Georreferencia para el área de estudio	35
<b>Figura 03:</b> Puntos de muestreo	36
<b>Figura 04:</b> Geomorfología del centro poblado de Culta	63
<b>Figura 05:</b> Media de pH de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	64
<b>Figura 06:</b> Media de Conductividad Eléctrica (C.E.) de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	65
<b>Figura 07:</b> Media de Sólidos Totales Disueltos de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	66
<b>Figura 08:</b> Media de Dureza Total de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	67
<b>Figura 09:</b> Media de Sodio de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	68
<b>Figura 10:</b> Media de Cloruros de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	69
<b>Figura 11:</b> Media de Sulfatos de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	70
<b>Figura 12:</b> Media de Nitratos de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	71
<b>Figura 13:</b> Media de Color de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	72
<b>Figura 14:</b> Media de Coliformes Totales de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	73
<b>Figura 15:</b> Media de Escherichia Coli de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca	74
<b>Figura 16:</b> Certificado de Análisis de Agua (Manantial Tacuyo - Pileta 01T)	92
<b>Figura 17:</b> Certificado de Análisis de Agua (Manantial Tacuyo - Pileta 02T)	93
<b>Figura 18:</b> Certificado de Análisis de Agua (Manantial Tacuyo - Pileta 03T)	94
<b>Figura 19:</b> Certificado de Análisis de Agua (Manantial Qaqallaca - 01Q)	95
<b>Figura 20:</b> Certificado de Análisis de Agua (Manantial Qaqallaca - 02Q)	96
<b>Figura 21:</b> Certificado de Análisis de Agua (Manantial Qaqallaca - 03Q)	97
<b>Figura 22:</b> Manantial Qaqallaca - Naciente principal	98
<b>Figura 23:</b> Pileta domiciliaria	98
<b>Figura 24:</b> Recolección de muestras del Manantial Tacuyo (Pileta 01T - Cercano al naciente)	99

- Figura 25:** Recolección de muestras del Manantial Tacuyo (Pileta 02T - área intermedia) 99
- Figura 26:** Recolección de muestras del Manantial Tacuyo (Pileta 03T - Extremo final) 100
- Figura 27:** Recolección de muestras del Manantial Qaqallaca (Punto de Origen - 01Q, 02Q, 03Q) 100

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia	87
<b>Anexo 02:</b> Geomorfología de la zona de estudio	88
<b>Anexo 03:</b> Límites máximos Permisibles (LMP) para consumo humano en el reglamento D.S. N°031-2010-SA.	89
<b>Anexo 04:</b> Resultados del análisis de laboratorio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los manantiales en el centro poblado de Culta.	92
<b>Anexo 05:</b> Panel fotográfico	98

## RESUMEN

La escasez de agua de calidad en zonas rurales representa un reto crítico para la salud y el desarrollo comunitario, lo que motivó investigar con el objetivo de evaluar la calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culca, Ácora, Puno - 2025, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo y descriptivo, con diseño no experimental y transversal. Se recolectaron muestras en puntos estratégicos: de Tacuyo se tomaron tres muestras de piletas de distribución en áreas pobladas, y en Qaqallaca se obtuvieron muestras en el origen y en zonas de captación directa por la comunidad. En el laboratorio se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los resultados revelaron: pH promedio (Tacuyo 7.72, Qaqallaca 7.10); conductividad eléctrica (Tacuyo 171.3  $\mu\text{S/cm}$ , Qaqallaca 1030  $\mu\text{S/cm}$ ); sólidos totales disueltos (Tacuyo 122.7 mg/L, Qaqallaca 566.3 mg/L); dureza total (Tacuyo 4.17 mg/L, Qaqallaca 28.92 mg/L); sodio (Tacuyo 9.31 mg/L, Qaqallaca 44.05 mg/L); cloruros (Tacuyo 73.5 mg/L, Qaqallaca 205.05 mg/L); sulfatos (Tacuyo 45.2 mg/L, Qaqallaca 48.90 mg/L); y nitratos (Tacuyo 18.30 mg/L, Qaqallaca 26.60 mg/L). En el análisis microbiológico se evidenció la ausencia de *Escherichia coli* en ambos manantiales, mientras que Tacuyo presentó 0 CFU/100 mL de coliformes totales, en contraste con una mínima presencia de 1.33 CFU/100 mL en Qaqallaca. Estos hallazgos reflejaron diferencias significativas atribuibles a factores ambientales y al manejo del recurso. Los datos fueron sometidos a un análisis estadístico, permitió validar la variabilidad observada. En conclusión, Tacuyo demostró condiciones estables y favorables para el consumo humano, mientras que Qaqallaca requiere intervenciones específicas para optimizar su potabilidad.

**Palabras clave:** Calidad del agua, Gestión ambiental, Manantiales, Potabilidad.

## ABSTRACT

The scarcity of quality water in rural areas represents a critical challenge for health and community development, which motivated research with the aim of evaluating the water quality of the Tacuyo and Qaqallaca springs in the town of Culita, Ácora, Puno - 2025, according to the Maximum Permissible Limits (LMP) D.S. N° 031-2010-SA. The research adopted a quantitative and descriptive approach, with a non-experimental and cross-sectional design. Samples were collected at strategic points: from Tacuyo, three samples were taken from distribution pools in populated areas, and in Qaqallaca, samples were obtained at the source and in areas directly captured by the community. In the laboratory, physicochemical and microbiological parameters were analyzed. The results revealed: average pH (Tacuyo 7.72, Qaqallaca 7.10); electrical conductivity (Tacuyo 171.3  $\mu$ S/cm, Qaqallaca 1030  $\mu$ S/cm); total dissolved solids (Tacuyo 122.7 mg/L, Qaqallaca 566.3 mg/L); total hardness (Tacuyo 4.17 mg/L, Qaqallaca 28.92 mg/L); sodium (Tacuyo 9.31 mg/L, Qaqallaca 44.05 mg/L); chlorides (Tacuyo 73.5 mg/L, Qaqallaca 205.05 mg/L); sulfates (Tacuyo 45.2 mg/L, Qaqallaca 48.90 mg/L); and nitrates (Tacuyo 18.30 mg/L, Qaqallaca 26.60 mg/L). Microbiological analysis showed the absence of *Escherichia coli* in both springs, while Tacuyo presented 0 CFU/100 mL of total coliforms, in contrast to a minimum presence of 1.33 CFU/100 mL in Qaqallaca. These findings reflected significant differences attributable to environmental factors and resource management. The data were subjected to a statistical analysis, which allowed validating the observed variability. In conclusion, Tacuyo demonstrated stable and favorable conditions for human consumption, while Qaqallaca requires specific interventions to optimize its potability.

**Keywords:** Water quality, Springs, Environmental management, Potability.

## INTRODUCCIÓN

El acceso al agua segura constituye un pilar fundamental para el desarrollo de comunidades rurales altoandinas, donde la dependencia de fuentes naturales como manantiales expone a poblaciones vulnerables a riesgos sanitarios silenciosos. En el altiplano puneño, región caracterizada por condiciones climáticas extremas y limitada infraestructura hídrica, la calidad del recurso adquiere dimensiones críticas para la salud pública (Andrade, 2018). Particularmente en el centro poblado de Culta (distrito de Acora), dos manantiales (Tacuyo y Qaqqallaka) sostienen la provisión hídrica comunal bajo dinámicas estacionales que podrían comprometer su aptitud para consumo humano.

Pese a la normativa peruana establecida en el D.S. N° 031-2010-SA, que regula los Límites Máximos Permisibles (LMP) para agua de consumo, numerosas comunidades altoandinas carecen de sistemas permanentes de monitoreo. Esta brecha técnica genera un vacío en la gestión preventiva de riesgos, particularmente frente a contaminantes microbiológicos y alteraciones físicoquímicos asociadas a factores antropogénicos y procesos naturales de lixiviación.

El presente estudio surge como respuesta a esta necesidad urgente de evidencia científica localizada. Centrándose en el análisis comparativo de ambos manantiales, busca desentrañar no solo su estado actual conforme a estándares nacionales, sino proyectar su sostenibilidad hacia el 2025 bajo escenarios de presión demográfica y variabilidad climática. La elección de parámetros físicoquímicos y microbiológicos (excluyendo metales pesados por características geológicas locales) responde a patrones epidemiológicos regionales donde enfermedades hídricas recurrentes guardan mayor correlación con contaminación orgánica que con toxicidad mineral.

Los hallazgos pretenden servir como base técnica para estrategias de gestión adaptativa, articulando conocimientos locales con políticas públicas en salud ambiental. Al vincular el cumplimiento normativo con prácticas comunitarias de uso estacional del recurso, el estudio trasciende el mero ejercicio analítico para convertirse en herramienta de fortalecimiento comunitario frente a desafíos hídricos crecientes.

Este estudio se organiza en cuatro capítulos esenciales.

El Capítulo I expone el problema de investigación, junto con los antecedentes y los objetivos que orientan el trabajo.

En el Capítulo II, se desarrolla el marco teórico, donde se presentan los conceptos clave y se plantea la hipótesis.

El Capítulo III describe la metodología aplicada, detallando el diseño de la investigación, las técnicas de recopilación de datos y los modelos empleados para el análisis.

Finalmente, el Capítulo IV abarca la presentación y el análisis de los resultados obtenidos

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A nivel mundial, la agricultura es una de las principales actividades humanas que requiere un alto consumo de agua potable. Países como Canadá, Colombia o Nueva Zelanda, y muchos otros en diversas regiones han registrado una disminución en la disponibilidad de agua potable. Esta situación, intensificada por la contaminación de las fuentes hídricas con plaguicidas, abonos químicos no naturales, y sustancias nocivas, compromete la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y la salud de los ecosistemas (Velázquez et al., 2023).

A nivel mundial, la actividad agrícola absorbe una fracción significativa del agua dulce extraída, destacándose como el principal sector demandante de este recurso. Esta alta demanda, combinada con prácticas de riego ineficientes y cultivos que dependen mayormente de agroquímicos, ha llevado a la contaminación de ríos, lagos y acuíferos en todas las regiones del planeta. La presencia de pesticidas, fertilizantes nitrogenados y otros contaminantes en las fuentes de agua representa una grave amenaza para la salud humana y los ecosistemas acuáticos (Velázquez et al., 2023)

Uno de los mayores desafíos para la humanidad en el siglo XXI es la creciente crisis del agua, marcada por su deterioro y la falta de acceso. Según la OMS, más de 2.200 millones de personas carecen de agua potable y saneamiento adecuado, lo que compromete su salud y calidad de vida. Esta problemática se agrava debido a la contaminación del agua, ocasionada principalmente por desechos domésticos, agrícolas

e industriales. Sustancias como productos químicos tóxicos, fertilizantes sintéticos, pesticidas y herbicidas afectan los ecosistemas acuáticos, reducen la biodiversidad y contaminan las fuentes de agua potable. Un ejemplo de este impacto es la eutrofización, un proceso causado por el exceso de nitrógeno y fósforo en el agua, que favorece el crecimiento descontrolado de algas, disminuye los niveles de oxígeno y provoca la muerte de especies acuáticas, dañando así el equilibrio ecológico. Además de dañar el medio ambiente, el deterioro del agua pone en mayor riesgo a millones de personas, exponiéndose a enfermedades crónicas relacionadas con toxinas y a padecimientos diarreicos. Según la FAO, la agricultura consume el 70 % del agua a nivel mundial y, debido al uso de agroquímicos y prácticas agrícolas insostenibles, contribuye significativamente a la contaminación hídrica. Además, el calentamiento global agrava la presión sobre los recursos hídricos al alterar los patrones de precipitación y aumentar la frecuencia de eventos catastróficos como sequías e inundaciones. Para abordar este problema global, es necesario tomar medidas inmediatas y coordinadas a nivel local, nacional e internacional. La implementación de marcos legislativos sólidos, la promoción de tecnologías ecológicas, la educación ambiental y la cooperación internacional son fundamentales para garantizar un acceso equitativo y sostenible al agua para todos (Calixto et al., 2023).

Las personas más vulnerables se ven afectadas de manera desproporcionada por el problema global del agua contaminada, especialmente en los países en desarrollo. Además de representar una amenaza para la salud, la contaminación del agua dificulta los esfuerzos para reducir la pobreza y promover el desarrollo sostenible. La producción agrícola, el crecimiento económico y la nutrición infantil se ven obstaculizados por la falta de acceso a agua potable limpia. (Calixto et al., 2023).

En América Latina, la disparidad en el acceso a agua limpia entre ciudades y áreas rurales refleja una crisis que requiere soluciones inmediatas. Aunque el país ha ampliado la cobertura de acueductos, las zonas alejadas siguen lidiando con obstáculos graves para obtener agua segura en cantidad adecuada. Esta desigualdad persistente evidencia

un desequilibrio arraigado en el sistema, que frena el progreso social, la estabilidad económica y las condiciones básicas de vida en estas regiones. Factores como el aislamiento geográfico, las fallas en tuberías y redes de distribución, y la falta de financiamiento impiden que miles de familias rurales tengan un abastecimiento estable. El impacto va más allá de la salud pública: enfermedades por agua contaminada y falta de higiene son comunes, pero también se aleja la posibilidad de cumplir metas globales, como las establecidas en los ODS para agua y saneamiento. (Pedraza, 2024).

Un estudio tiene como resultados que evidencian una preocupante contaminación bacteriológica del agua potable en un 80% de las comunidades rurales analizadas en Ahome, Sinaloa. La presencia de coliformes fecales termotolerantes indica un riesgo significativo de enfermedades gastrointestinales para la población. La ineficacia del proceso de cloración, principal método de desinfección, subraya la urgencia de implementar medidas más robustas de control de calidad y saneamiento. Es indispensable fortalecer la vigilancia en las redes de distribución, mejorar los sistemas de tratamiento y promover prácticas de higiene adecuadas para garantizar la seguridad del agua para consumo humano en estas comunidades (Ávila et al., 2024).

En Perú, este estudio, realizado en el distrito de Viques, Huancayo, Junín, evaluó la calidad microbiológica de cuatro manantiales utilizados como fuente de agua para consumo humano. Los resultados revelaron una contaminación bacteriana significativa en tres de los cuatro manantiales analizados (Chintipuquio, Asnopusquio y Pilapueblo), superando los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente. La presencia de coliformes fecales y bacterias heterótrofas en altas concentraciones indica un riesgo elevado de enfermedades gastrointestinales para la población que consume agua de estos manantiales, poniendo en peligro su salud y bienestar (Baca Llacua & Valdez Acero, 2023).

En un estudio, realizado en el centro poblado de Chetilla, Cajamarca, se evaluó la calidad del agua para consumo humano durante siete meses. Los resultados revelaron una contaminación bacteriológica significativa en el agua de la red pública, con niveles de

coliformes totales y termotolerantes superiores a los límites permitidos por la normativa nacional. Además, se detectaron deficiencias en la desinfección, evidenciadas por los bajos niveles de cloro residual libre. Estos hallazgos indican que el agua suministrada a los pobladores de Chetilla no es apta para el consumo humano, poniendo en riesgo su salud (Rodríguez & Salazar 2024).

A nivel regional y local, el estudio, realizado en la parcialidad de Jiscullaya, distrito de llave, Puno, reveló que si bien los parámetros físicoquímicos del agua de los manantiales se encuentran dentro de los límites permitidos, la presencia de coliformes indica una contaminación bacteriológica. Esta situación coincide con los reportes de la Posta de Salud Siraya sobre la alta prevalencia de enfermedades gastrointestinales en la zona. Los resultados obtenidos sugieren una fuerte correlación entre la calidad microbiológica del agua y los problemas de salud de la población, lo que resalta la urgencia de implementar medidas para garantizar el acceso a agua segura y potable (Contreras Chura et al., 2023) El estudio realizado en Villa Santa Rosa, Puno, determinó que aunque el agua de los manantiales cumple con los estándares físicoquímicos, está contaminada bacteriológicamente por coliformes totales, lo que la hace no apta para el consumo humano. Esta situación subraya la necesidad de aplicar tratamientos de desinfección para asegurar que el agua sea segura para las personas. (Figuroa, 2024).

La comunidad de Culta, ubicada en el distrito de Ácora, Puno, utiliza principalmente el agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka para diversas actividades. La ausencia de información actualizada sobre la calidad de esta agua genera inquietud respecto a su impacto en la salud de los pobladores. Es necesario realizar análisis detallados para determinar si el agua cumple con los estándares de calidad y descartar la presencia de contaminantes que puedan poner en riesgo la salud de la comunidad.

Es decir, la comunidad de Culta depende en gran medida de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka para satisfacer sus necesidades básicas, incluyendo el consumo humano, la agricultura y la ganadería. Sin embargo, la proximidad de estas actividades a las fuentes hídricas, sumada a la posible falta de gestión adecuada, podría estar comprometiendo la

calidad del agua. Por consiguiente, resulta imperativo evaluar las características físicoquímicas y microbiológicas de estas aguas para determinar su aptitud para el consumo humano y garantizar la salud de la población.

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka del centro poblado de Culta, distrito de Ácora, Puno, cumplirá con los límites máximos permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA en 2025?

### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿En qué medida la concentración de los parámetros físicoquímicos del agua para de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka del centro poblado de Culta, distrito de Ácora, Puno, cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP), D.S. N° 031-2010-SA?
- ¿En qué medida la concentración de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka del centro poblado de Culta, distrito de Ácora, Puno, cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA?
- ¿Existirá diferencia en la calidad del agua para consumo humano entre los manantiales Tacuyo y Qaqallaka del centro poblado de Culta, distrito de Ácora, Puno?

## **1.2. ANTECEDENTES**

### **1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL**

León et al., (2022), en su artículo “Evaluación de la calidad del agua del manantial “El Paraíso” en Santiago de Cuba” el estudio reveló una preocupante calidad del agua, no apta para consumo humano ni para actividades agrícolas. Los análisis físicoquímicos y bacteriológicos detectaron niveles elevados de sales disueltas y una significativa contaminación bacteriológica, superando los estándares establecidos por la NC 827:17. Se destaca los valores obtenidos para el Potasio  $K^+$  (1.31 mg/L), Nitrato  $NO_3^-$  (46.3 mg/L) y el Bicarbonato/hidrogenocarbonato  $HCO_3^-$  (418.8 mg/L), así como la presencia de coliformes totales y termotolerantes. Los índices de calidad del agua, como la Relación de Absorción de Sodio y la Salinidad Efectiva, indicaron un impacto negativo en su uso

agrícola. Esta investigación resalta la importancia de implementar medidas urgentes para mejorar las condiciones sanitarias del manantial y garantizar la salud pública. Los resultados obtenidos constituyen una valiosa herramienta para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región, subrayando la necesidad de monitoreos continuos para prevenir futuros problemas de contaminación.

Aragón et al., (2022), en su artículo titulado “Agua subterránea en Norteamérica, un caso de estudio: riesgo de contaminación y uso de los manantiales en San Simón Almolongas, Oaxaca, México”, por la necesidad imperiosa de optimizar la calidad del agua proveniente de los manantiales destinados al consumo humano y actividades agrícolas. El objetivo principal es investigar los riesgos del consumo de agua y contaminación de los manantiales en San Simón Almolongas, los resultados del estudio muestran que la mayor parte del agua se destina al consumo humano y a la agricultura. Actividades como el uso de fertilizantes en cultivos y la ausencia de sistemas de drenaje en viviendas están poniendo en riesgo la calidad del agua. El análisis de los factores de riesgo de contaminación muestra que: el manantial “Ojo de agua” y el manantial “El Zereche” presentan un alto riesgo de contaminación, el manantial “La Pilita” presenta un riesgo medio de contaminación y finalmente el manantial “Centro” presenta un riesgo bajo de contaminación. El mapeo de los manantiales y la evaluación de los factores de contaminación han generado una línea base para la planificación y ejecución de acciones orientadas a mejorar la seguridad hídrica y la sostenibilidad de los recursos acuíferos en la comunidad.

Reyes et al., (2022), en su artículo “Evaluación de la calidad del agua de manantiales ubicados en la comunidad El Platanal, Michoacán, México” el estudio realizado en los manantiales de la comunidad de El Platanal ha revelado una compleja situación en cuanto a la calidad del agua. Si bien los análisis físicoquímicos indican que el agua es apta para riego agrícola, al cumplir con los estándares establecidos para parámetros como el pH (6.8 - 7.9), la conductividad eléctrica (196.8 a 254  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y la dureza total (<50 mg/L), la presencia de contaminantes microbiológicos (coliformes fecales en un

intervalo de  $1.1 \times 10^3$  NMP/100mL a  $2.4 \times 10^5$  NMP/100mL) representa una seria limitante para su consumo humano directo. Estos microorganismos, detectados en mayor proporción durante la temporada de lluvias, ponen en riesgo la salud de la población y demandan la implementación de tratamientos de potabilización adecuados. Los resultados de este estudio no solo ofrecen un diagnóstico preciso de la calidad del agua en la zona, sino que también subrayan la importancia de una gestión sostenible del recurso hídrico. Al proporcionar una línea base sólida, esta investigación sienta las bases para futuras acciones encaminadas a garantizar el acceso a agua segura y a promover el desarrollo sostenible de la comunidad de El Platanal.

### **1.2.2. A NIVEL NACIONAL**

Challco (2023), en su tesis “Determinación de la calidad del agua para consumo humano del manantial Marampampa distrito de Ocobamba, Cusco 2023” en su estudio se evaluó la calidad del agua para consumo humano, con el objetivo de verificar su cumplimiento con los rigurosos estándares de calidad en la categoría A1. Los resultados obtenidos demostraron que los parámetros físicoquímicos, como la conductividad eléctrica (55.5  $\mu$ S/cm), cloruros (2.5 mg/L), sulfatos (10.25 mg/L), dureza (26 mg/L), pH (6.63) y turbidez (0.275 NTU), se encontraban dentro de los límites permitidos para los estándares de calidad A1, al igual que los parámetros microbiológicos, como los coliformes totales (17.25 NMP/100ml) y termotolerantes (15.75 NMP/100ml). Mediante un enfoque metodológico mixto y no experimental, que incluyó el muestreo en el manantial, un reservorio y domicilios de la comunidad, se obtuvo una visión integral de la calidad del agua en el sistema de abastecimiento. Este estudio no solo aporta valiosa información sobre la calidad del agua en zonas rurales del Cusco, sino que también establece una línea base para futuras investigaciones y monitoreos, resaltando la importancia de preservar la calidad del agua frente a posibles amenazas ambientales y contribuyendo al desarrollo de estrategias de gestión sostenible y protección de la salud pública en la región.

Zegarra (2016), en su tesis “Evaluación de la calidad físicoquímica y bacteriológica del manantial Huañambra en José Galvez - Celendín” su estudio reveló que, a pesar de ser limpia en apariencia, contiene bacterias que la hacen peligrosa para beber. Aunque el agua cumple con los parámetros físicoquímicos de la norma técnica categoría A1 del MINAM, la presencia de coliformes totales (1200 UFC/100 ml) y fecales (1000 UFC/100 ml) exceden los límites permitidos para agua potable. Esto pone en riesgo la salud de quienes la consumen y exige que el agua sea tratada antes de beberse. El estudio resalta la importancia de controlar la calidad del agua en zonas rurales y de ofrecer soluciones para garantizar el acceso a agua potable.

Pantoja (2024), en su tesis “Evaluación de la calidad de agua para consumo humano del Manantial de Paccha, Provincia de Huari, 2022” el estudio realizado en el manantial de Paccha determinó el cumplimiento integral de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos con los Límites Máximos Permisibles (LMP) del D.S. N° 031-2010-SA para consumo humano. Los resultados evidenciaron concentraciones de nitratos (8.048 mg/L en estiaje; 7.831 mg/L en avenida) y metales pesados, arsénico (<0.01 mg/L), cadmio (<0.003 mg/L), dentro de los rangos permitidos, junto a la ausencia de coliformes fecales y termotolerantes (<1 NMP/100 mL). Asimismo, se verificó el ajuste a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del D.S. N° 004-2017-MINAM, con valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO <0.6 mg O<sub>2</sub>/L), sólidos suspendidos totales (TSS <2.6 mg/L), oxígeno disuelto (>6.75 mg O<sub>2</sub>/L) y conductividad eléctrica (<332 μS/cm), indicadores de baja carga contaminante y estabilidad ecosistémica. La ausencia de variación significativa entre estiaje y avenida sugiere un sistema hidrológico resiliente, sin impacto agudo por actividades antropogénicas o eventos climáticos. Parámetros no normativos, como la demanda química de oxígeno (DQO <2.2 mg O<sub>2</sub>/L), respaldan la calidad intrínseca del recurso, mientras que la aceptabilidad sensorial (olor y sabor) y la inexistencia de cloro libre (<0.05 mg/L) confirman su condición natural no tratada. Estos hallazgos posicionan al manantial como una fuente sostenible, recomendándole su monitoreo continuo para garantizar la preservación del recurso ante potenciales presiones

socioambientales. Si bien el manantial es una fuente potencialmente segura, se recomendó implementar un sistema de cloración para garantizar la potabilidad del agua a largo plazo. Este estudio subraya la necesidad de un monitoreo continuo de la calidad del agua y la importancia de cumplir con las normas sanitarias para proteger la salud pública. Cansaya & Nabenta (2018), en su tesis “Investigación para la evaluación de parámetros en agua subterránea y su potabilización para el abastecimiento en la localidad de Samuel Pastor Provincia de Camaná” realizaron un estudio con el objetivo de evaluar y mejorar la calidad del agua del manantial Vía Telégrafo en Samuel Pastor, a fin de garantizar el suministro de agua potable que cumpla con los estándares establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-S.A. Los resultados mostraron que el agua presentaba niveles excesivos de dureza (800.8 mg/L), sólidos disueltos totales (1636 mg/L) y sulfatos (552 mg/L). Para solucionar esta problemática, se implementó un tratamiento de coagulación y floculación, logrando reducir significativamente los contaminantes y adecuar el agua para el consumo humano. Además de resolver el problema específico del manantial, este estudio contribuyó con el diseño de un reservorio y proporciona recomendaciones prácticas para el tratamiento del agua, lo que representa un valioso aporte para mejorar la calidad de vida de la comunidad de Samuel Pastor.

### 1.2.3. A NIVEL REGIONAL O LOCAL

Alcca (2023), en su investigación sobre la “calidad del agua en los manantiales Quipata-Totorpujo, Plaza, Estadio y Jjaquejihuata en Platería, Puno, evaluó su cumplimiento con la normativa ECA - DS N° 004-2017-MINAM.” Los hallazgos indicaron que, aunque uno de los manantiales cumplía con ciertos estándares físicoquímicos, todos presentaban contaminación bacteriana superior a los límites permitidos. En particular, el manantial Quipata-Totorpujo mostró deficiencias en oxígeno disuelto (1.90 mg/L) y concentraciones elevadas de coliformes totales (1300 NMP/100 mL) y *Escherichia coli* (1.8 NMP/100 mL). De manera similar, el manantial de la Plaza de Armas no alcanzó los valores requeridos en oxígeno disuelto (4.47 mg/L), fósforo total (0.30 mg/L), pH (8.57) y

bacterias coliformes. Por otro lado, el manantial del estadio de Platería presentó incumplimientos en parámetros como temperatura (15.6 °C), amoníaco (9.61 mg/L), arsénico (0.0181 mg/L) y demanda química de oxígeno (78.3 mg/L), entre otros. Finalmente, el manantial de Jjaquejihuata mostró niveles de arsénico (0.0012 mg/L) y *E. coli* (1.8 NMP/100 mL) fuera de los estándares recomendados. Por el resultado sobre todo en el parámetro microbiológico indica que el agua no es segura para el consumo humano, lo que pone en riesgo la salud de la población. Los resultados sugieren una relación entre la contaminación y la proximidad de las letrinas a los manantiales, señalando la necesidad urgente de mejorar las prácticas de gestión del agua en la región. Velasquez (2024), en su tesis “Evaluación de la calidad de agua para consumo humano en el Centro Poblado de Viluyo del Distrito de Pichacani – Laraqueri, Puno - 2023” el estudio determinó su aptitud para el consumo humano. Se analizaron dos puntos de muestreo: la salida del reservorio y un punto a 2.14 km de distancia, en el centro poblado. Ocho parámetros (siete físicoquímicos y uno bacteriológico) fueron evaluados según el DS 031-2010-SA. Los resultados (temperatura 7.5°C, conductividad eléctrica 131.55 uS/cm, pH 7.40, turbidez 0.36 NTU, cloro 0.01 mg/l, hierro 0.12 mg/l, magnesio 16.0 mg/l y 0 NPM de coliformes totales) indican que el agua cumple con todos los estándares de calidad, siendo apta para consumo humano.

Ccapa (2024), en su tesis “Calidad del agua para consumo humano del sector Tunuhiri Grande centro poblado de Ichu - Puno - 2023” Este estudio evaluó la calidad del agua potable, buscando determinar su aptitud para consumo humano. Se analizaron parámetros físicoquímicos (pH, color, turbiedad) y microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes) en cinco puntos de la red de distribución, siguiendo protocolos de la DIGESA. Si bien turbiedad, color y pH cumplieron con los LMP, la ausencia de cloro residual y altos niveles de coliformes totales (7.2 NMP/100ml hasta 290 NMP/100ml) y termotolerantes (15 NMP/100ml hasta 93 NMP/100ml), superando los LMP del D.S. N° 031-2010-SA demuestran que el agua es impropia para consumo, requiriendo tratamiento y desinfección urgente. La mayor contaminación se observó en PM-5. Este trabajo

contribuye identificando un riesgo para la salud pública, informando a las autoridades para la implementación de soluciones, promoviendo la salud y generando conocimiento sobre la calidad del agua en zonas rurales de Puno.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Evaluar la calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno - 2025, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la concentración de parámetros fisicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta. Ácora, Puno, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP), D.S. N° 031-2010-SA.
- Determinar la concentración de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.
- Determinar la diferencia entre la calidad del agua para consumo humano de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

##### **2.1.1. EL AGUA COMO RECURSO NATURAL**

Desde sus primeros asentamientos, la humanidad ha dependido de ríos, lagos y manantiales para sobrevivir. Sin embargo, la demanda actual de agua ha adquirido una magnitud nunca antes vista (Martos, 2021).

Beber agua limpia no es un privilegio, sino un derecho vital. Aun así, el 25% de la población mundial no cuenta con acceso garantizado a este líquido, lo que los expone a padecer cólera, disentería y otras infecciones por patógenos hídricos. La contaminación microbiológica del agua es una de las principales amenazas para la salud pública a nivel mundial.(OMS, 2021)

##### **2.1.2. MANANTIAL**

Un manantial es una fuente natural de agua dulce que surge del interior de la Tierra debido a la presión del agua subterránea acumulada en acuíferos. Cuando esta agua encuentra una abertura en el terreno, emerge hacia la superficie, creando un flujo constante de agua. Estos puntos de emergencia natural son de gran importancia ecológica y han sido utilizados por el ser humano desde tiempos ancestrales como fuente de agua potable y para el desarrollo de asentamientos (Custodio & Manuel, 2020)

##### **2.1.3. CALIDAD FÍSICOQUÍMICO DEL AGUA**

La calidad físicoquímica del agua es una evaluación completa de sus características físicas y químicas para determinar si es apta para diversos usos. Se analizan aspectos como su apariencia (color, turbidez), su composición química (pH, minerales,

contaminantes) y su capacidad para conducir electricidad. Esta evaluación es crucial para garantizar que el agua sea segura para el consumo humano, adecuada para la agricultura y los procesos industriales, y que no dañe el medio ambiente.(Yaneth, 2017)

#### **2.1.4. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA**

La calidad microbiológica del agua se refiere a la medición tanto cuantitativa como cualitativa de los microorganismos que habitan en un cuerpo de agua. Estos microorganismos pueden ser patógenos, ser indicadores de contaminación fecal o formar parte de la microbiota acuática natural. Para evaluar esta calidad, se utilizan diversos procedimientos analíticos que permiten identificar y cuantificar grupos microbianos específicos, como los coliformes totales, los coliformes termotolerantes (como *E. coli*), los estreptococos fecales, y otros patógenos, incluyendo Salmonella, Shigella y algunos virus entéricos. La presencia de estos microorganismos es indicativa de una posible contaminación fecal y representa un riesgo para la salud humana, ya que pueden ocasionar diversas enfermedades, como problemas gastrointestinales, dermatológicos y neurológicos. Los parámetros microbiológicos juegan un papel esencial en la evaluación de la potabilidad del agua, en la efectividad de los tratamientos de desinfección y en el cumplimiento de las normativas de calidad impuestas por organismos internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS). Evaluar la calidad microbiológica es clave para asegurar un suministro de agua seguro y proteger la salud pública (Rafael, 2019).

#### **2.1.5. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA**

##### **a) Temperatura**

La temperatura del agua es un indicador clave de su calidad, ya que influye en diversos procesos acuáticos, los aumentos o disminuciones en la temperatura alteran la capacidad del agua para disolver gases como el oxígeno, esencial para la vida acuática. Además, la temperatura afecta directamente la tasa de reacciones químicas y biológicas que ocurren en el agua, como la descomposición de materia orgánica y el crecimiento de microorganismos. Estos cambios pueden modificar significativamente la composición

química del agua y su capacidad para sustentar la vida. Por lo tanto, el monitoreo de la temperatura es fundamental para evaluar la salud de los ecosistemas acuáticos y garantizar la calidad del agua para diversos usos.(Chapman, 2021)

#### **b) Turbidez**

La turbidez refleja qué tan transparente está el agua, lo cual depende de las partículas suspendidas que bloquean el paso de la luz. Estas partículas pueden provenir de fuentes naturales como arcillas arrastradas por ríos o de actividades humanas como vertidos industriales no tratados. Cuando la turbidez es elevada, el agua tiende a ser menos segura, ya que puede esconder microorganismos dañinos e interferir con métodos de purificación como la cloración (World Health Organization, 2022)

#### **c) Color**

El color del agua es un factor visual importante para evaluar su calidad, y está relacionado con la presencia de sustancias disueltas, como restos de material orgánico en descomposición o metales pesados. Si el agua presenta un color inusual, como marrón o amarillo, generalmente indica contaminación, lo que puede alterar su sabor y olor. Además, este cambio de color puede complicar los procesos de tratamiento, dificultando su purificación y consumo seguro (Bridgewater et al., 2017).

#### **d) Sólidos Totales Disueltos (TDS)**

Los sólidos totales disueltos (TDS) representan la carga mineral total presente en una solución acuosa, estos compuestos, en su mayoría iones inorgánicos, resultan de la disolución de sales, minerales y otros compuestos solubles. La concentración de TDS es un indicador clave de la calidad del agua, ya que influye en propiedades como la conductividad eléctrica, la dureza y la salinidad. Un elevado contenido de TDS puede afectar el sabor del agua, la eficiencia de los procesos de tratamiento y, en algunos casos, inhibir el crecimiento de organismos acuáticos. La determinación de los TDS es fundamental en diversos campos, como la hidrología, la oceanografía y el control de calidad de aguas para consumo humano (Bridgewater et al., 2017).

### **e) Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica del agua es una medida directa de la cantidad de sales y minerales disueltos en ella, estos compuestos, al disociarse en iones, permiten el flujo de corriente eléctrica. Por lo tanto, a mayor cantidad de iones, mayor será la conductividad. Este parámetro es fundamental en la evaluación de la calidad del agua, ya que una conductividad elevada puede indicar contaminación o una mineralización excesiva, afectando su potabilidad y usos industriales (Miller, 2007)

## **2.1.6. PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA**

### **a) pH**

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua, determinada por la concentración de iones de hidrógeno presentes. Una escala del 0 al 14 nos indica este nivel, siendo 7 el punto neutro. Valores inferiores a 7 señalan un carácter ácido, mientras que valores superiores indican alcalinidad. La importancia del pH radica en que su variación fuera de los rangos óptimos puede alterar la calidad del agua, afectando tanto a organismos acuáticos como a la salud humana (Bridgewater et al., 2017).

### **b) Alcalinidad**

La alcalinidad del agua se refiere a su capacidad para resistir cambios en la acidez. Esta propiedad se debe, principalmente, a la presencia de sustancias como bicarbonatos y carbonatos, que actúan como agentes estabilizadores del pH. Mantener un nivel adecuado de alcalinidad es crucial para asegurar un pH constante, lo cual es necesario para la salud y supervivencia de los organismos acuáticos. Además, la alcalinidad es un factor clave al evaluar la calidad del agua, ya que refleja la capacidad del agua para resistir la acidificación provocada por contaminantes o procesos naturales (Pérez 2021).

### **c) Dureza**

La dureza del agua se determina por la concentración de minerales como el calcio y el magnesio presentes en la solución. Estos minerales, aunque esenciales para la salud en cantidades adecuadas, pueden causar inconvenientes cuando están presentes en exceso. Por ello, es fundamental mantener los niveles de dureza dentro de los rangos

establecidos por las normativas sanitarias para garantizar la calidad y seguridad del agua para el consumo humano (Samboni et al., 2021)

#### **d) cloruros**

La concentración de cloruro en el agua es un indicador clave de su calidad y seguridad. Este ion, presente de forma natural en muchas fuentes de agua, debe ser monitoreado constantemente para proteger tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana. Para determinar la cantidad de cloruro en una muestra de agua, se emplean técnicas analíticas como la titulación argentométrica y la potenciometría. Estas pruebas son fundamentales para garantizar que el agua cumpla con los estándares de calidad establecidos y sea apta para el consumo humano (Ambientum, 2024).

#### **e) Sulfatos**

La presencia de sulfatos en el agua es un indicador de la calidad y pureza de esta. Estos compuestos, provenientes de la disolución de minerales que contienen azufre, pueden afectar el sabor y la potabilidad del agua si se encuentran en altas concentraciones. Aunque en pequeñas cantidades son inofensivos, niveles elevados de sulfatos pueden causar molestias gastrointestinales. Por esta razón, existen regulaciones internacionales que limitan la cantidad máxima permitida de sulfatos en el agua destinada al consumo humano (Acosta et al., 2022).

#### **f) Nitratos y Nitritos**

La presencia de nitratos y nitritos en el agua, principalmente producto de actividades humanas como la agricultura y la industria, es una señal de contaminación. Estos compuestos nitrogenados ingresan al agua a través de diversas vías, incluyendo el escurrimiento de fertilizantes y la transformación bacteriana de los nitratos en nitritos. Al alcanzar niveles elevados, estos contaminantes pueden alterar significativamente la calidad del agua, volviéndola no apta para el consumo humano ni para la vida acuática (Cabrera et al., 2020)

## 2.1.7. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA

### a) Coliformes Totales

La presencia de coliformes totales en el agua puede ser una señal de contaminación fecal. Estos microorganismos, que habitan en el sistema digestivo de humanos y animales, se usan como indicadores para detectar la posible presencia de patógenos que pueden causar infecciones gastrointestinales. Si se encuentran coliformes totales en una muestra de agua, esto sugiere que podría haber contaminación por bacterias, virus o parásitos, lo que representa un riesgo para la salud. Por esta razón, el conteo de coliformes totales es un factor clave al evaluar la calidad microbiológica del agua, para asegurar que sea segura para el consumo. Si los resultados son positivos, es necesario tomar medidas rápidas para eliminar la contaminación y garantizar que el agua sea apta para beber (Sánchez, 2023).

### b) *Escherichia coli*

La detección de *Escherichia coli* en una muestra de agua es una señal clara de contaminación fecal reciente, esto significa que el agua ha estado en contacto con heces de humanos o animales, lo que implica un alto riesgo de presencia de otros microorganismos patógenos, como virus, parásitos y bacterias, capaces de causar enfermedades gastrointestinales (Secaira & Elizabeth, 2022).

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. EVALUACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

La calidad del agua se determina mediante un análisis exhaustivo de sus propiedades físicas, químicas y biológicas para verificar que sea segura para el consumo humano y cumpla con las normativas establecidas (Ramírez, 2021).

### 2.2.2. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) PARA EL AGUA

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) son valores establecidos por ley que determinan la cantidad máxima de contaminantes permitida en el agua para garantizar su calidad y proteger la salud humana y el medio ambiente (MINSA, 2010).

### **2.2.3. FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA**

La contaminación del agua es un problema global causado por la introducción de sustancias nocivas en cuerpos de agua, afectando su calidad y poniendo en riesgo la salud humana y los ecosistemas (IBERDROLA, 2022)

### **2.2.4. MONITOREO Y GESTIÓN DEL AGUA**

El monitoreo y gestión del agua implica evaluar constante y sistemáticamente su calidad y cantidad para garantizar su uso sostenible, especialmente en áreas rurales donde proteger fuentes como los manantiales es crucial para la salud y la producción (Torre, 2017).

## **2.3. MARCO NORMATIVO**

- Constitución política del Perú (1993)
- Ley N° 26842 - Ley General de Salud
- Ley N° 28611 - Ley general del Ambiente
- Decreto Supremo N° 031-2010-SA - Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano
- Ley N° 29338 - Ley de recursos hídricos

## **2.4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

- La calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno - 2025, no cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- La concentración de los parámetros físicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno, exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP), D.S. N° 031-2010-SA.
- La concentración de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno, excede los Límites Máximos Permisibles (LMP), D.S. N° 031-2010-SA.

- Existe diferencia entre la calidad del agua para consumo humano de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el centro poblado de Culta perteneciente al distrito de Acora, Provincia y región de Puno, en las coordenadas UTM 19S Este: 420147 Norte: 8226553, con una elevación aproximada 3848 msnm. Presenta un clima frío y seco con marcadas variaciones estacionales. La temporada de lluvias se concentra entre diciembre y marzo, con alta humedad y precipitaciones significativas. Entre mayo y agosto, predominan temperaturas bajas con heladas frecuentes y condiciones de sequía. Durante todo el año, se registran vientos moderados, con ráfagas más intensas en la época seca. Estas condiciones influyen en la disponibilidad de agua y en las actividades agrícolas y pecuarias de la zona.

- Coordenada UTM del manantial Tacuyo: “19S Este: 419666 Norte: 8222038”
- Coordenada UTM del manantial Qaqallaka: “19S Este: 420191 Norte: 8224648”



**Figura 01:** Localización de Manantiales Tacuyo y Qaqallaka

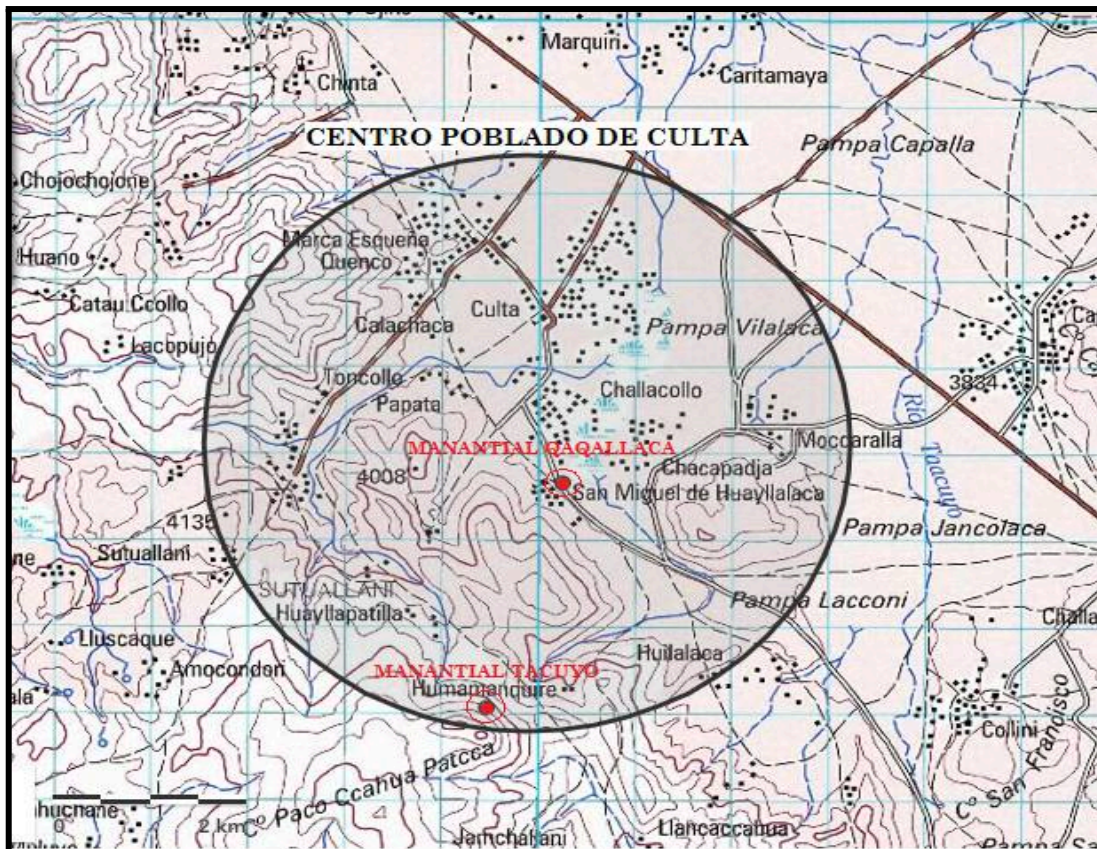
**Fuente:** Google Earth Pro

## 3.2 .POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.2.1. POBLACIÓN

El presente estudio se centró en los dos manantiales que abastecen de agua a la población de Culta, distrito de Acora, provincia de Puno, los cuales son utilizados principalmente para el consumo humano. Estas fuentes fueron el manantial Tacuyo, cuya agua es distribuida a través de las piletas domiciliarias, y el manantial Qaqallaca, empleado directamente por la comunidad de manera ocasional cuando el suministro del manantial Tacuyo resultaba limitado.

En la Figura 02 se muestra la ubicación de los manantiales y el área donde los habitantes son dependientes del recurso hídrico.



**Figura 02:** Mapa de Georreferencia para el área de estudio

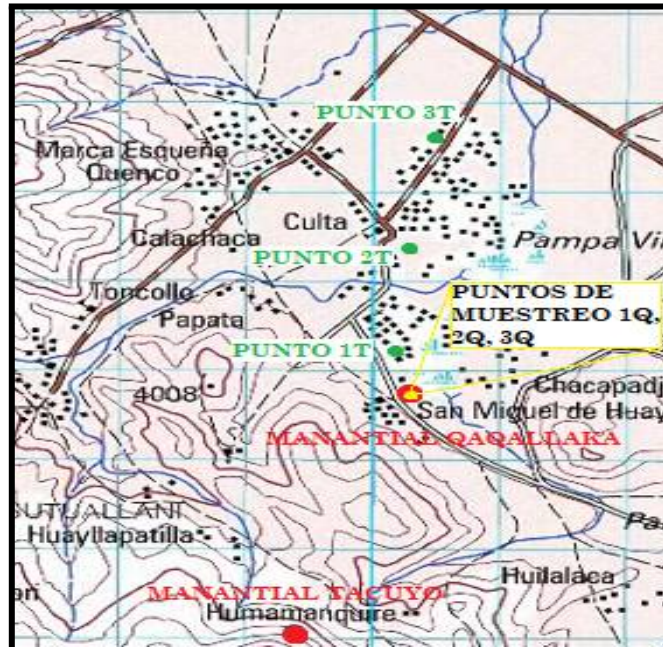
**Fuente:** Geocatmin

### 3.2.2. MUESTRA

El tipo de muestra utilizado en el estudio fue no probabilístico intencional, ya que los puntos de muestreo se escogieron en función de su representatividad e importancia dentro de la red comunitaria de distribución hídrica en la comunidad de Culata. Se llevaron a cabo tres muestreos en cada manantial (Tacuyo y Qaqallaca), obteniendo un total de seis muestras para el análisis. Las tres primeras muestras se tomaron directamente del manantial Qaqallaca en distintos momentos, mientras que las tres restantes se recolectaron en las piletas domiciliarios que distribuyen el agua del manantial Tacuyo, en diferentes zonas de la comunidad, como se muestra en la Figura 03, con el fin de asegurar la precisión en los resultados.

- Coordenadas UTM del punto de muestreo 01Q, 02Q, 03Q: "19S Este: 420191 Norte: 8224648"

- Coordenada UTM del punto de muestreo 01T: "19S Este: 419973 Norte: 8225373"
- Coordenada UTM del punto de muestreo 02T: "19S Este: 420063 Norte: 8226533"
- Coordenada UTM del punto de muestreo 03T: "19S Este: 420466 Norte: 8227568"



**Figura 03:** Puntos de muestreo

**Fuente:** Geocatmin

### 3.3. MÉTODO Y TÉCNICAS

**Enfoque:** Cuantitativo

**Tipo de investigación:** Descriptivo

**Diseño de investigación:** No experimental - Transversal

**Técnica:** Registro, observación

#### 3.3.1. DISEÑO METODOLÓGICO POR OBJETIVO ESPECÍFICO

**Objetivo 01:** Determinar la concentración de parámetros físicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka, de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP):

La recolección de muestras se realizó siguiendo el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de Agua del MINSA (2022), adaptado a las condiciones geográficas del Centro Poblado de Culta.

**Selección y preparación de puntos de muestreo:**

Se definieron los puntos de muestreo en función del uso poblacional y la forma de captación del agua. En el manantial Tacuyo se tomaron muestras en tres piletas de distribución ubicadas en zonas estratégicas (cerca del nacimiento, en el área intermedia y en el extremo final). En el manantial Qaqallaca se recolectaron muestras en el punto de origen y en dos puntos adicionales en el área de captación directa por parte de la población.

En lo que es la georeferenciación, se registraron las coordenadas UTM de cada punto de muestreo utilizando un GPS Garmin, con un error  $\leq 3$  m.

**Tabla 01:** Puntos de muestreo en coordenadas UTM

Puntos de muestreo	Manantial Tacuyo	Coordenadas UTM 19S	Manantial Qaqallaca	Coordenadas UTM 19S
<b>Muestra 01T y 01Q</b>	Pileta 01 (cerca del nacimiento)	Este: 419973 Norte: 8225373	Naciente principal	Este: 420191 Norte: 8224648
<b>Muestra 02T y 02Q</b>	Pileta 02 (área intermedia)	Este: 420063 Norte: 8226533	Naciente principal	Este: 420191 Norte: 8224648
<b>Muestra 03T y 03Q</b>	Pileta 03 (extremo final)	Este: 420466 Norte: 8227568	Naciente principal	Este: 420191 Norte: 8224648

**Nota.** Datos recolectados por el autor en el centro poblado de Cultra

#### **Preparación de materiales y toma de muestra:**

Se utilizaron frascos de plástico de polietileno de 1000 mL, los cuales fueron sometidos a un triple lavado con agua destilada y enjuagados en el lugar de muestreo. Se dejó fluir el agua durante 2 minutos para acondicionarla y eliminar residuos estancados. La muestra se recolectó utilizando una jarra desinfectada, llenando el frasco hasta el 90% de su capacidad sin generar burbujas, y se etiquetó con un código único, fecha, hora y coordenadas.

### **Conservación y transporte**

Las muestras se almacenaron en un contenedor térmico (cooler) a una temperatura entre 4°C y 10°C, y se trasladaron al laboratorio en el menor tiempo posible para minimizar cualquier alteración.

### **Análisis en laboratorio**

En el laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) sede Illpa, se analizaron los parámetros físicoquímicos, microbiológicos y se compararon los resultados obtenidos con los LMP establecidos en el D.S. 031-2010-SA.

**Tabla 02:** Límite Máximo Permissible del D.S. 031-2010-SA. para datos obtenidos

<b>Parámetro</b>	<b>LMP</b>
<b>Físicoquímicos</b>	
pH	6.5 - 8.5
Conductividad Eléctrica (C.E.)	≤ 1500 μS/cm
Sólidos totales disueltos	≤ 1000 mg/L
Dureza Total	≤ 500 mg CaCO <sub>3</sub> /L
Sodio	≤ 200 mg/L
Cloruros	≤ 250 mg/L
Sulfatos	≤ 400 mg/L
Nitratos	≤ 50 mg/L
<b>Parámetros Microbiológicos</b>	
Coliformes Totales	≤ 0 UFC/100 mL
<i>E. coli</i>	≤ 0 UFC/100 mL
<b>Parámetros organolépticos</b>	
Color	Aceptable
Olor	Aceptable
Sabor	Aceptable
Turbidez	Aceptable

**Fuente:** Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.

**Objetivo 02:** Determinar la concentración de parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka, de acuerdo a los límites máximos permisibles (LMP).

**Selección y preparación de puntos de muestreo:**

Se utilizaron los mismos puntos georreferenciados definidos para el análisis físico-químico, garantizando la comparabilidad entre ambos tipos de análisis.

**Preparación de materiales y toma de muestras**

Se emplearon frascos de plástico de polipropileno de 500 mL, previamente lavados con agua caliente y jabón neutro, enjuagados con agua destilada, siguiendo los protocolos de la OMS para entornos rurales. Se dejó fluir el agua durante 3 minutos tras desinfectar la salida de la pileta con alcohol etílico al 70%, y se llenaron los frascos a un 90% sin generar burbujas. Cada frasco fue etiquetado con un código único, fecha, hora y coordenadas.

**Conservación y transporte**

Las muestras se conservaron en un contenedor térmico a temperaturas entre 4°C y 10°C y se enviaron al laboratorio en el menor tiempo posible, entre 2 a 3 horas máximo luego de que se tomarán las muestras.

**Análisis de laboratorio**

Se realizaron análisis para la identificación y cuantificación de coliformes totales y de *Escherichia coli*, cuyos resultados se compararon con los LMP del DS 031-2010-SA.

**Objetivo 03:** Determinar la diferencia entre la calidad del agua para consumo humano de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka en el centro poblado de Culta, Ácora, Puno.

**Diseño estadístico y métodos de comparación:**

Se calcularon medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (rango, desviación estándar y coeficiente de variación) para cada parámetro.

Se compararon los datos entre ambos manantiales utilizando la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney, ya que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad requeridos para el T de Student. Para ello se utilizó la función =MANNWHITNEY.TEST de Excel y se validaron los resultados con plataformas estadísticas especializadas,

considerando un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ).

Además, se aplicó la prueba binomial exacta para evaluar el cumplimiento de los LMP, estableciendo que si al menos una muestra incumple (en parámetros con LMP estrictos, por ejemplo, 0 CFU/100 mL para coliformes), se consideraba que la fuente no cumplía con el estándar.

### **3.3.2. MATERIALES**

El proceso de recolección de muestras de agua para evaluar la calidad físicoquímica y microbiológica de los manantiales Tacuyo y Qaqallaka, así como de las piletas del centro poblado de Culpa, se realizó utilizando materiales y equipos cuidadosamente seleccionados para garantizar la precisión, fiabilidad e integridad de las muestras.

En primer lugar, se emplearon frascos estériles con capacidad de 1 litro (1000 ml) para la recolección de las muestras. Se utilizó equipo de protección personal completo, incluyendo guantes estériles y mascarillas. Asimismo, se aplicaron etiquetas adhesivas y marcadores permanentes para registrar información crucial, como el punto de muestreo, la fecha y la hora. Para mantener la integridad de las muestras y prevenir alteraciones en sus propiedades físicoquímicas y microbiológicas, estas se transportaron en una caja de tecnopor (cooler). Finalmente, se registraron las coordenadas geográficas de cada punto de muestreo utilizando un dispositivo GPS de alta precisión.

### 3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

**Tabla 03:** Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
		Turbidez	UNT
		Color	UCV escala Pto-Co
	Física y organoléptico	Sabor	Aceptable
		Olor	Aceptable
		Temperatura	°C
		Conductividad Eléctrica	μS/cm
		Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
<b>Variable independiente</b>		pH	Escala de 0 - 14
<b>e:</b>	Química (Orgánica e Inorgánica)	Sólidos Disueltos Totales	mg/L
Concentración de parámetros		Oxígeno Disuelto	mg/L
		Nitratos y Nitritos	mg/L
		Cloruros	mg/L
		Sulfatos	mg/L
		Dureza Total	mg/L de CaCO <sub>3</sub>
	Microbiológica	Coliformes Totales	NMP/100 mL
		Escherichia Coli	NMP/100 mL
<b>Variable dependiente:</b>	Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para el consumo humano, establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA	Cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de agua	Ordinal
calidad del agua		No Cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de agua	Ordinal

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

#### Análisis descriptivo previo

- **Medidas de tendencia central:** Media ( $\bar{X}$ ) y mediana (Me).

Fórmula de Media ( $\bar{X}$ ):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media aritmética.

$X_i$  = Valor de cada muestra individual.

$n$  = Número total de muestras.

$\Sigma$  = Símbolo de sumatoria.

Fórmula de Mediana (Me):

Cálculo para  $n$  impar

Ordenar datos:  $[X_{(1)}, X_{(2)}, X_{(3)}]$

$$Me = X_{(2)}$$

- **Medidas de dispersión:** Desviación estándar ( $s$ ), Rango, Coeficiente de variación (CV).

Fórmula de Desviación estándar ( $s$ ):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Donde:

$s$  = Desviación estándar.

$X_i - \bar{X}$  = Diferencia entre cada valor y la media.

$n - 1$  = Corrección de Bessel (ajuste para muestras pequeñas).

Fórmula de Rango:

$$Rango = X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n}$$

Donde:

$X_{m\acute{a}x}$  = Valor máximo observado.

$X_{m\acute{i}n}$  = Valor mínimo observado.

Fórmula de Coeficiente de variación (CV):

$$CV = \left(\frac{s}{\bar{X}}\right) \times 100$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación (%).

s = Desviación estandar.

$\bar{X}$  = Media aritmética.

### Para evaluar el cumplimiento de LMP según el D.S. 031-2010-SA

- **Prueba binomial exacta:** Esta prueba se da con el objetivo de determinar si el porcentaje de las muestras obtenidas incumplen con los límites máximos permisibles pasando el 5% (umbral crítico que va a equilibrar salud pública y viabilidad operativa), esto depende mucho del D.S. N 031-2010-SA, si el LMP es estricto entonces el umbral crítico es 0.

Fórmula de la prueba binomial exacta:

$$p = \sum_{k=x}^n \binom{n}{k} p_0^k (1 - p_0)^{n-k}$$

Donde:

n = muestras

x = incumplimientos

$p_0$  = 5% máximo permitido (0.05)  (0)

La prueba binomial, es una herramienta simple pero contundente: si al menos una muestra incumple, el resultado es  $p = 0.0$  (no cumple); si todas cumplen,  $p = 1.0$  (cumple).

### Para comparar datos obtenidos de los manantiales

- **Prueba U de Mann-Whitney:** El principal objetivo de la prueba es comparar media ( $\bar{X}$ ) de parámetros entre ambos manantiales (Tacuyo - Qaqallaca).

Fórmula de U de Mann-Whitney:

$$U = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1$$

Donde:

$n_1$  = Tamaño de muestra de Tacuyo.

$n_2$  = Tamaño de muestra de Qaqallaca.

$R_1$  = Suma de Rangos del primer grupo.

Esta prueba se realizó empleando la función =MANNWHITNEY.TEST(A1:A3, B1:B3, 1) de excel, como también la plataforma Social Science Statistics, para poder tener más certeza en los resultados. Estos recursos calculan automáticamente el estadístico U y su valor p asociado, validando diferencias entre grupos sin asumir normalidad en los datos.

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. EXPOSICIÓN INTEGRAL Y DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS HÍDRICOS

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos se realizó mediante muestreos triplicados en puntos estratégicos de consumo y abastecimiento de ambos manantiales. Para el manantial Tacuyo, cuya agua se distribuye a través de una red de piletas domiciliarias, las muestras se recolectaron en tres piletas clave: uno cercano al nacimiento del manantial, otro en el centro de la comunidad de Cultra y un tercero en la zona más alejada. Este enfoque permitió evaluar la calidad del agua que la población consume directamente en diferentes puntos de la red.

En contraste, el manantial Qaqallaka, utilizado regularmente por la comunidad en épocas críticas, fue muestreado directamente en su nacimiento principal, donde el agua emerge naturalmente. Las muestras se recolectaron en recipientes esterilizados, conservadas para evitar alteraciones, y trasladadas al Laboratorio de Suelos y Aguas del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) – sede Illpa-Puno, entidad certificada en análisis ambientales, en donde se analizaron las muestras recolectadas para evaluar su calidad fisicoquímica y microbiológica. Estos estudios permiten determinar si el agua cumple con los estándares de potabilidad y detectar posibles fuentes de contaminación, facilitando la toma de decisiones para su tratamiento y gestión.

#### 4.1.1. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICOS

**Tabla 04:** Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las 3 muestras del manantial Tacuyo (piletas).

Parámetro	Unidad	Muestra N°	Muestra N°	Muestra N°	Media
		01T	02T	03T	
pH	–	7.65	7.72	7.80	7.72
Conductividad Eléctrica (C.E.)	μS/cm (25°C)	160.0	173.8	180.0	171.3
Sólidos totales disueltos	mg/L	115.0	123.0	130.0	122.7
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	4.00	4.20	4.30	4.17
R.A.S.	–	1.70	1.72	1.75	1.72
Calcio	mg/L	11.50	12.02	12.50	12.01
Magnesio	mg/L	2.80	2.91	3.00	2.90
Potasio	mg/L	0.38	0.39	0.40	0.39
Sodio	mg/L	9.00	9.43	9.50	9.31
Cloruros	mg/L	70.0	74.46	76.0	73.5
Sulfatos	mg/L	44.0	45.62	46.0	45.2
Carbonatos	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00

Bicarbonatos	mg/L	8.30	8.54	8.60	8.48
Nitratos	mg/L	17.50	18.60	18.80	18.30
Color	–	Claro y transparente	Claro y transparente	Claro y transparente	–
Olor	–	Inodoro	Inodoro	Inodoro	–
Sabor	–	Agradable	Agradable	Agradable	–
Turbidez	NTU (cualitativo)	Baja	Baja	Baja	–
Coliformes	UFC/100	0	0	0	0
Totales	mL				
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	0	0	0	0

En la Tabla 04, los resultados obtenidos del manantial Tacuyo mostraron una notable estabilidad entre las tres muestras analizadas, reflejándose en valores consistentes de parámetros como el pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos. Las concentraciones de minerales como calcio, magnesio, sodio y potasio presentaron ligeras variaciones, sin cambios abruptos, lo cual sugiere una composición química equilibrada en el agua. Además, las características organolépticas color, olor, sabor y turbidez, fueron evaluadas de manera cualitativa a través de la percepción sensorial, observándose que se mantuvieron adecuadas en todas las muestras, lo que refleja una buena calidad sensorial del agua a lo largo del periodo de muestreo.

**Tabla 05:** Resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las 3 muestras del manantial Qaqallaca (naciente principal).

Parámetro	Unidad	Muestra N°	Muestra N°	Muestra N°	Media
		01Q	02Q	03Q	
pH	–	7.10	6.91	7.28	7.10
Conductividad Eléctrica (C.E.)	μS/cm (25°C)	1050	1116	923	1030
Sólidos totales disueltos	mg/L	577.5	613.8	507.7	566.33
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	28.50	29.05	29.20	28.92
R.A.S.	–	0.90	0.88	0.87	0.88
Calcio	mg/L	57.50	58.11	58.50	58.04
Magnesio	mg/L	34.80	35.26	35.50	35.19
Potasio	mg/L	1.50	1.56	1.58	1.55
Sodio	mg/L	43.50	44.16	44.50	44.05
Cloruros	mg/L	203.0	205.66	206.50	205.05
Sulfatos	mg/L	48.50	48.99	49.20	48.90
Carbonatos	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos	mg/L	12.00	12.20	12.30	12.17

Nitratos	mg/L	28.00	24.80	27.00	26.60
Color	–	Claro y transparente	Claro y transparente	Claro y transparente	–
Olor	–	Inodoro	Inodoro	Inodoro	–
Sabor	–	Agradable	Agradable	Agradable	–
Turbidez	NTU (cualitativo)	Baja	Baja	Baja	–
Coliformes	UFC/100	2	1	1	1.33
Totales	mL				
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	0	0	0	0

En la Tabla 05, los resultados de las muestras del manantial Qaqallaca muestran valores estables en los principales parámetros analizados. El pH se mantuvo en un rango ligeramente neutro, mientras que la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos reflejaron una mineralización moderada del agua. La dureza total fue baja, indicando que el agua es relativamente blanda. En cuanto a las características organolépticas color, olor, sabor y turbidez, todas las muestras fueron evaluadas de manera cualitativa mediante percepción sensorial, sin instrumentos de precisión, y resultaron adecuadas para el consumo. En el análisis microbiológico, se detectaron bajos niveles de coliformes totales, pero no se encontró presencia de *E. coli*, lo cual es un aspecto positivo respecto a la calidad sanitaria del agua.

#### 4.1.2. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICO

**Tabla 06:** Resultados estadísticos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del manantial Tacuyo (piletas).

Parámetro	Unidad	Media	Mediana	Rango	Desviación estándar	CV(%)
pH	–	7.72	7.72	0.15	0.075	0.97
Conductivida d Eléctrica (C.E.)	μS/cm (25°C)	171.3	173.8	20.0	10.24	6.0
Sólidos totales disueltos	mg/L	122.7	123.0	15.0	7.50	6.11
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	4.17	4.20	0.30	0.153	3.67
R.A.S.	–	1.72	1.72	0.05	0.025	1.46
Calcio	mg/L	12.01	12.02	1.00	0.50	4.17
Magnesio	mg/L	2.90	2.91	0.20	0.10	3.45
Potasio	mg/L	0.39	0.39	0.02	0.01	2.56
Sodio	mg/L	9.31	9.43	0.50	0.271	2.91
Cloruros	mg/L	73.5	74.46	6.00	3.12	4.24
Sulfatos	mg/L	45.2	45.62	2.00	1.06	2.35

Carbonatos	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bicarbonatos	mg/L	8.48	8.54	0.30	0.159	1.87
Nitratos	mg/L	18.30	18.60	1.30	0.70	3.83
Coliformes	UFC/100	0	0	0	0	0
Totales	mg/L					
<i>E. coli</i>	UFC/100	0	0	0	0	0
	mL					

En la Tabla 06, se muestra una calidad de agua químicamente estable y protegida. Los parámetros clave como el pH (7.72) y las sales totales (122.7 mg/L) presentan variabilidad mínima entre muestreos (rango  $\leq 15$  mg/L y CV%  $< 6\%$ ), lo que sugiere que los piletas funcionan como un sistema de distribución cerrado y gracias a la geomorfología cercana al manantial aíslan de forma segura el agua, mitigando la influencia de factores externos. Los nitratos, aunque dentro de rangos seguros (18.30 mg/L), aumentan gradualmente desde la muestra N° 01T (17.50 mg/L) hasta la muestra N° 03T (18.80 mg/L), posiblemente por infiltración de fertilizantes agrícolas durante períodos húmedos y de constante lluvia. Destaca la ausencia total de contaminación microbiológica (0 CFU en coliformes y *E. coli*), lo que refleja un manejo adecuado de la infraestructura y protección del naciente. La conductividad eléctrica (171.3  $\mu$ S/cm) y la dureza (4.17 mg/L) confirman un agua de baja mineralización, ideal para consumo humano, aunque su ligero aumento en la muestra N° 03T (180  $\mu$ S/cm) podría vincularse a menor dilución en época transitoria a estiaje.

**Tabla 07:** Resultados estadísticos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del manantial Qaqallaca (naciente principal).

Parámetro	Unidad	Media	Mediana	Rango	Desviación estándar	CV(%)
pH	–	7.10	7.10	0.37	0.185	2.61
Conductividad Eléctrica (C.E.)	μS/cm (25°C)	1030	1050.0	193.0	98.11	9.53
Sólidos totales disueltos	mg/L	566.33	575.0	106.1	53.91	9.52
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	28.92	29.05	0.70	0.369	1.27
R.A.S.	–	0.88	0.88	0.03	0.015	1.73
Calcio	mg/L	58.04	58.11	1.00	0.504	0.87
Magnesio	mg/L	35.19	35.26	0.70	0.356	1.01
Potasio	mg/L	1.55	1.56	0.08	0.042	2.69
Sodio	mg/L	44.05	44.16	1.00	0.508	1.15
Cloruros	mg/L	205.05	205.66	3.50	1.83	0.89
Sulfatos	mg/L	48.90	48.99	0.70	0.359	0.73
Carbonatos	mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Bicarbonatos	mg/L	12.17	12.20	0.30	0.153	1.26
Nitratos	mg/L	26.60	27.00	3.20	1.637	6.16
Coliformes	UFC/100	1.33	1	1	0.577	43.43
Totales	mg/L					
<i>E. coli</i>	UFC/100	0	0	0	0	0
	mL					

En la Tabla 07, se evidencia una mayor vulnerabilidad ambiental. Parámetros como el pH oscilan entre 6.91 (muestra N° 02Q) y 7.28 (muestra N° 03Q), fluctuación atribuible a cambios en la actividad microbiana del suelo o interacción con CO<sub>2</sub> atmosférico. La conductividad eléctrica de (1030  $\mu$ S/cm) varía significativamente (rango = 193  $\mu$ S/cm), indicando aportes variables de minerales desde capas geológicas profundas, especialmente durante época de lluvias con la muestra N° 02Q (1116  $\mu$ S/cm). Para los sólidos totales disueltos su coeficiente de variación (CV% = 9.52 %) inferior al 10% indica que es bajo a moderado, lo que significa que a pesar de las fluctuaciones ambientales, las mediciones se mantienen bastante consistentes. Los nitratos (26.60 mg/L) alcanzan su máximo en inicio de lluvias con la muestra N° 01Q (28.00 mg/L), asociados a contaminación por residuos orgánicos o ganadería cercana al naciente. Los cloruros (205.05 mg/L) son notablemente estables (CV% = 0.89%), esto sugiere un origen geológico (disolución de rocas), la presencia de coliformes totales (1.33 CFU), con pico en la muestra N° 01Q (2 CFU) indica que la contaminación no proviene de la fuente geológica misma, sino de factores externos durante la recolección del agua por la población o el contacto del manantial con materia orgánica arrastrada por las primeras lluvias y los fuertes vientos.

#### 4.1.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DEL D.S. N° 031-2010-SA

**Tabla 08:** Prueba Binomial Exacta para el cumplimiento de los LMPs del D.S. N° 031-2010-SA. del Manantial Tacuyo (piletas).

Parámetro	Muestras	LMP	n	x	Prueba Binomial (p-valor)	Valoración
<b>Físicoquímicos</b>	<b>01T, 02T, 03T</b>					
pH	7.65 - 7.72 - 7.80	6.5 - 8.5	3	0	1.0	Cumple
Conductividad Eléctrica (C.E.)	160.0 - 173.8 - 180.0	≤ 1500 $\mu$ S/cm	3	0	1.0	Cumple
Sólidos totales disueltos	115.0 - 123.0 - 130.0	≤ 1000 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Dureza Total	4.00 - 4.20 - 4.30	≤ 500 mg CaCO <sub>3</sub> /L	3	0	1.0	Cumple
Sodio	9.00 - 9.43 - 9.50	≤ 200 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Cloruros	70.0 - 74.46 - 76.0	≤ 250 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Sulfatos	44.0 - 45.62 - 46.0	≤ 400 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Nitratos	17.50 - 18.60 - 18.80	≤ 50 mg/L	3	0	1.0	Cumple
<b>Parámetros Microbiológicos</b>						
Coliformes	0 - 0 - 0	≤ 0	3	0	1.0	Cumple

Totales		UFC/100 mL				
<i>E. coli</i>	0 - 0 - 0	≤ 0	3	0	1.0	Cumple
Parámetros organolépticos		UFC/100 mL				
Color	Claro	Aceptable	-	-	-	Cumple
Olor	Inodoro	Aceptable	-	-	-	Cumple
Sabor	Agradable	Aceptable	-	-	-	Cumple
Turbidez	Baja	Aceptable	-	-	-	Cumple

En la tabla 08, se observa que todas las muestras cumplieron con los LMP en todos los parámetros evaluados, obteniendo un p-valor = 1.0 en cada caso. Esto significa que, estadísticamente, no hay evidencia de incumplimiento, lo que confirma que el agua de las piletas es segura para consumo humano.

**Tabla 09:** Prueba Binomial Exacta para el cumplimiento de los LMPs del D.S. N° 031-2010-SA. del Manantial Qaqallaca (naciente principal).

<b>Parámetro</b>	<b>Muestras</b>	<b>LMP</b>	<b>n</b>	<b>x</b>	<b>Prueba Binomial (p-valor)</b>	<b>Valoración</b>
<b>Físicoquímicos</b>	<b>01Q, 02Q, 03Q</b>					
pH	7.10 - 6.91 - 7.28	6.5 - 8.5	3	0	1.0	Cumple
Conductividad Eléctrica (C.E.)	1050 - 1116 - 923	≤ 1500 μS/cm	3	0	1.0	Cumple
Sólidos totales disueltos	577.5 – 613.8 – 507.7	≤ 1000 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Dureza Total	28.50 - 29.05 - 29.20	≤ 500 mg CaCO <sub>3</sub> /L	3	0	1.0	Cumple
Sodio	43.50 - 44.16 - 44.50	≤ 200 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Cloruros	203.0 - 205.66 - 206.5	≤ 250 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Sulfatos	48.50 - 48.99 - 49.20	≤ 400 mg/L	3	0	1.0	Cumple
Nitratos	28.0 - 24.80 - 27.0	≤ 50 mg/L	3	0	1.0	Cumple
<b>Parámetros Microbiológicos</b>						
Coliformes Totales	2 - 1 - 1	≤ 0 UFC/100	3	3	0.0	No Cumple

			mL			
<i>E. coli</i>	0 - 0 - 0	≤ 0	3	0	1.0	Cumple
		UFC/100				
			mL			

### Parámetros

#### organolépticos

Color	Claro	Aceptable	-	-	-	Cumple
Olor	Inodoro	Aceptable	-	-	-	Cumple
Sabor	Agradable	Aceptable	-	-	-	Cumple
Turbidez	Baja	Aceptable	-	-	-	Cumple

En la Tabla 09, la situación es diferente. Aunque los parámetros físico químicos cumplen los LMP (p-valor = 1.0), los coliformes totales presentaron un problema grave: las 3 muestras analizadas superaron el LMP (0 CFU/100 mL), resultando en un p-valor = 0.0. Esto indica un incumplimiento estadísticamente significativo, sugiere una contaminación ambiental vinculada a factores climáticos y prácticas humanas.

#### 4.1.4. DIFERENCIACIÓN ENTRE CALIDAD DE AGUA DE LOS DOS MANANTIALES

Esta diferenciación se enfocó en parámetros con diferencias significativas y su importancia, algunos parámetros se excluyeron por tres razones: carecen de LMP en el D.S. 031-2010-SA, tampoco presentaron variabilidad relevante entre manantiales y finalmente su impacto ambiental fue secundario frente a parámetros críticos presentados.

**Tabla 10:** Prueba U de Mann-Whitney para Diferencias entre Manantiales

<b>Parámetro</b>	<b>Tacuyo (Mediana)</b>	<b>Qaqallaca (Mediana)</b>	<b>U</b>	<b>Valor "P"</b>	<b>Diferencia</b>
Nitratos (mg/L)	18.60	27.00	0	0.049	Sí
Conductividad ( $\mu$ S/cm)	173.8	1050.0	0	0.049	Sí
TDS (mg/L)	111.3	577.5	0	0.049	Sí
Cloruros (mg/L)	74.46	205.66	0	0.049	Sí
Coliformes Totales (CFU)	0	1	0	0.049	Sí
Dureza Total (mg/L)	4.20	29.05	0	0.049	Sí
Sodio (mg/L)	9.43	44.16	0	0.049	Sí
pH	7.72	7.10	3	0.423	No
Sulfatos (mg/L)	45.62	48.99	2	0.200	No

#### Interpretación de la prueba U de Mann-Whitney

- **Estadístico U = 0:** Todos los valores de Qaqallaca son mayores que los de Tacuyo.
- **Valor p < 0.05:** Diferencias estadísticamente significativas (probabilidad <5% de ser casualidad).
- **Nivel de confianza:** 95% ( $\alpha = 0.05$ )

El nivel de confianza del 95% ( $\alpha=0.05$ ) significa que hay un 95% de probabilidad de que las diferencias observadas entre los manantiales sean reales y no producto del azar. El valor  $\alpha=0.05$  establece el umbral de significancia: si el valor p es menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula (no hay diferencias) y aceptamos que las diferencias son estadísticamente significativas. Es el estándar científico para minimizar falsos positivos.

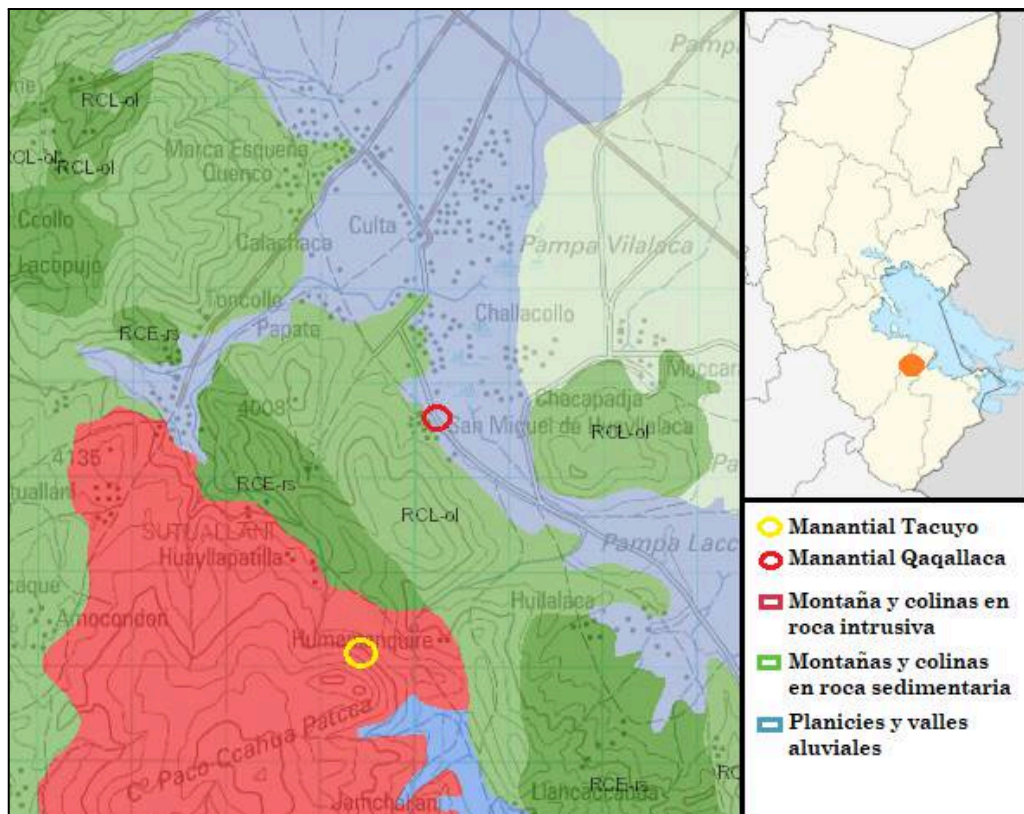
**Tabla 11:** Posibles causas ambientales / climáticas / antropogénicas para diferencias entre manantiales

Parámetro	Diferencia (Qaqallaca vs. Tacuyo)	Posibles causas
Nitratos (mg/L)	+8.4 (27.00 vs. 18.60)	<p><b>Ambiental:</b> Suelos con materia orgánica acumulada por décadas de cultivos intensivos (papa, trigo, etc.), cuyos residuos se descomponen y liberan nitratos.</p> <p><b>Humano:</b> Fertilización excesiva con urea en cultivos de quinua y otros, cuyos excedentes se infiltran al acuífero.</p> <p><b>Climático:</b> Lluvias torrenciales que arrastran nitratos desde suelos agrícolas hacia el manantial.</p> <p><b>Ambiental:</b> Interacción con acuíferos sedimentarios ricos en sales minerales (yeso).</p>

Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	+876.2 (1050 vs. 173.8)	<b>Climático:</b> Evaporación estacional que concentra sales.
Sólidos totales disueltos (mg/L)	+466.2 (577.5 vs. 111.3)	<b>Ambiental:</b> Lixiviación de sales en rocas sedimentarias (porosidad alta).
		<b>Climático:</b> Lluvias torrenciales que arrastran contaminantes al manantial.
		<b>Ambiental:</b> Intrusión salina en acuífero sedimentario vs. roca intrusiva impermeable (Tacuyo).
Cloruros (mg/L)	+131.2 (205.66 vs. 74.46)	<b>Climático:</b> Escorrentía rápida que transporta cloruros al manantial.
		<b>Ambiental:</b> Aporte orgánico por fauna en Qaqallaka vs. entorno menos biodinámico en Tacuyo.
Coliformes Totales (CFU)	+1 (1 vs. 0)	<b>Climático:</b> Materia orgánica dirigida al manantial por lluvias o presencia de fuertes vientos.

		<b>Ambiental:</b> Estratos calcáreos (calizas) en Qaqallaka vs. roca intrusiva inerte en Tacuyo.
Dureza Total (mg/L)	+24.85 (29.05 vs. 4.20)	<b>Humano:</b> Estructura del manantial sin revestimiento que movilizan sedimentos calcáreos.
Sodio (mg/L)	+34.73 (44.16 vs. 9.43)	<b>Ambiental:</b> Disolución de halita (sal de roca) de capas sedimentarias en el acuífero.

En la Tabla 11, se muestra la marcada diferencia en la calidad del agua entre Qaqallaka y Tacuyo se fundamenta en su contexto geológico (Figura 04) y antrópico. Tacuyo, asociado a rocas intrusivas (granito/diorita), presenta estabilidad química con baja conductividad, TDS y dureza, reflejando una interacción agua-roca limitada y menor vulnerabilidad a procesos de mineralización. Esta inercia química relativa sugiere aptitud para consumo humano, aunque requiere vigilancia ante contaminación puntual. Por otro lado, Qaqallaka, influenciado por rocas sedimentarias (yeso, calizas) y actividades humanas ocasionales, evidencia alta carga iónica (sales, nitratos) y variabilidad estacional, vinculada a la solubilidad de minerales, lixiviación agrícola y presión urbana. Si bien esta dinámica favorece nutrientes que sustentan la biodiversidad acuática, también señala riesgos de contaminación difusa y eutrofización, las cuales se presentan efectivamente en el manantial Qaqallaca como se muestra en la Figura 16. Así, la sinergia entre litología, clima y acción humana define perfiles hidroquímicos contrastantes, resaltando la necesidad de estrategias de gestión diferenciadas para cada manantial.



**Figura 04:** Geomorfología del centro poblado de Cultra

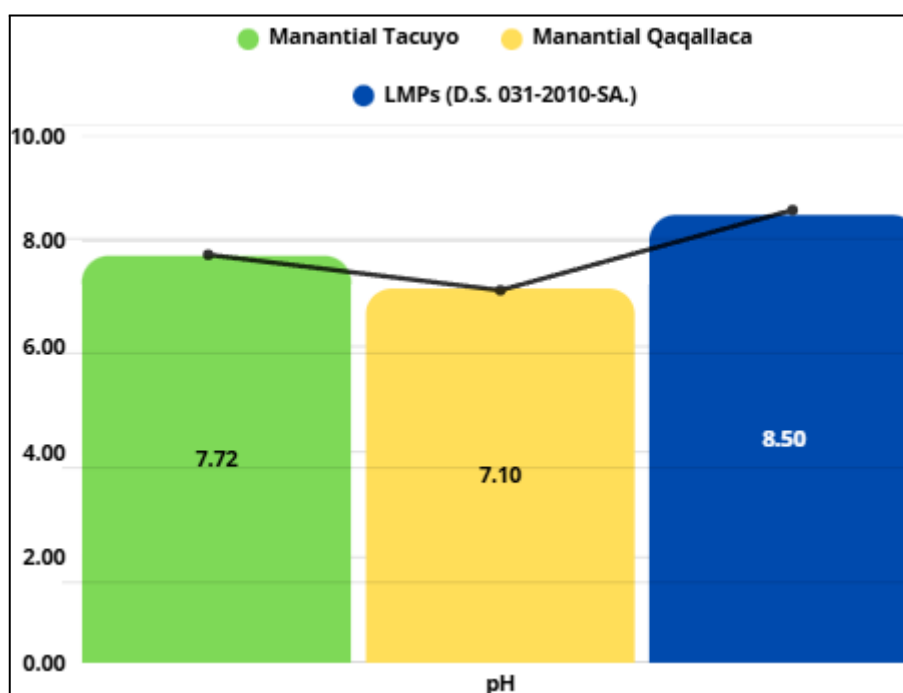
**Fuente:** Geocatmin

## 4.2. ANÁLISIS INTEGRAL DE LA CALIDAD DEL AGUA: REPRESENTACIÓN GRÁFICA Y COMPARATIVA

### 4.2.1. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

Los datos obtenidos en los dos puntos de muestreo, tanto en las evaluaciones in situ como en los análisis de laboratorio, corresponden a tres campañas de monitoreo realizadas durante el primer trimestre del 2025. La primera muestra fue recolectada y procesada el 10 de febrero, seguida de un segundo muestreo el 20 de febrero, y una tercera fase de recolección el 14 de marzo del mismo año, en este análisis trabajara con la media de cada parámetro para una mayor comprensión en la comparación de datos.

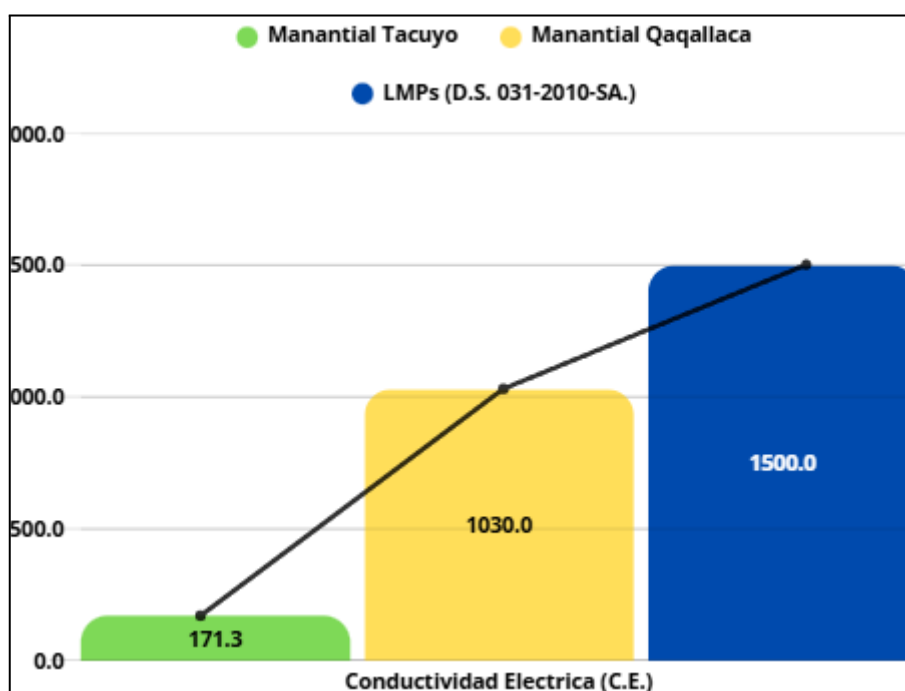
#### 4.2.1.1 Análisis del parámetro pH



**Figura 05:** Media de pH de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

Según la figura 05, se ha encontrado que el manantial Tacuyo presenta una media de pH de 7.72, mientras que el manantial Qaqallaca muestra una media de 7.10. Estos valores se ubican dentro del rango permitido (6.5 – 8.5). En el estudio realizado por Ccapa (2024), sobre el Sector Tunuhui, se reportaron valores de pH entre 6.5 y 7.26. Esto sugiere que, aunque ambos manantiales cumplen con el rango normativo, la diferencia en pH puede estar relacionada no solo con la composición geológica, sino también con la dinámica de recarga, la influencia de la escorrentía y el manejo del recurso en cada localidad.

#### 4.2.1.2 Análisis del parámetro de Conductividad Eléctrica (C.E.)

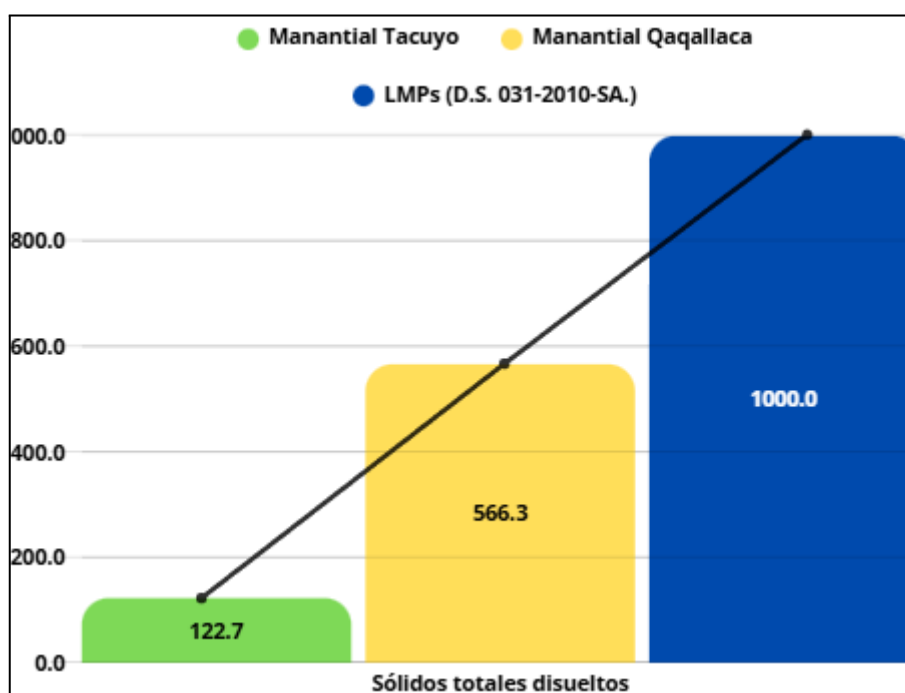


**Figura 06:** Media de Conductividad Eléctrica (C.E.) de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En la Figura 06, se muestra los resultados de conductividad eléctrica muestran que el manantial Qaqallaca presenta una media de 1030  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en línea con Ccapa (2024), que reportan valores de 900 a 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en fuentes expuestas a intensos procesos erosivos y aportes minerales, mientras que el manantial Tacuyo, con 171.3  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se asemeja a estudios de Pantoja (2024), de fuentes con recargas controladas y menor interacción directa con el sustrato, evidenciando condiciones más estables.

Esta comparación destaca que la elevada conductividad en Qaqallaca se debe a una mayor liberación de minerales, probablemente impulsada por condiciones ambientales dinámicas, mientras que Tacuyo muestra una menor carga iónica, lo que sugiere un entorno de recarga más moderado. Estos hallazgos respaldan la necesidad de estrategias de manejo diferenciadas, considerando que factores como la erosión y la variabilidad estacional influyen de manera significativa en la calidad del agua.

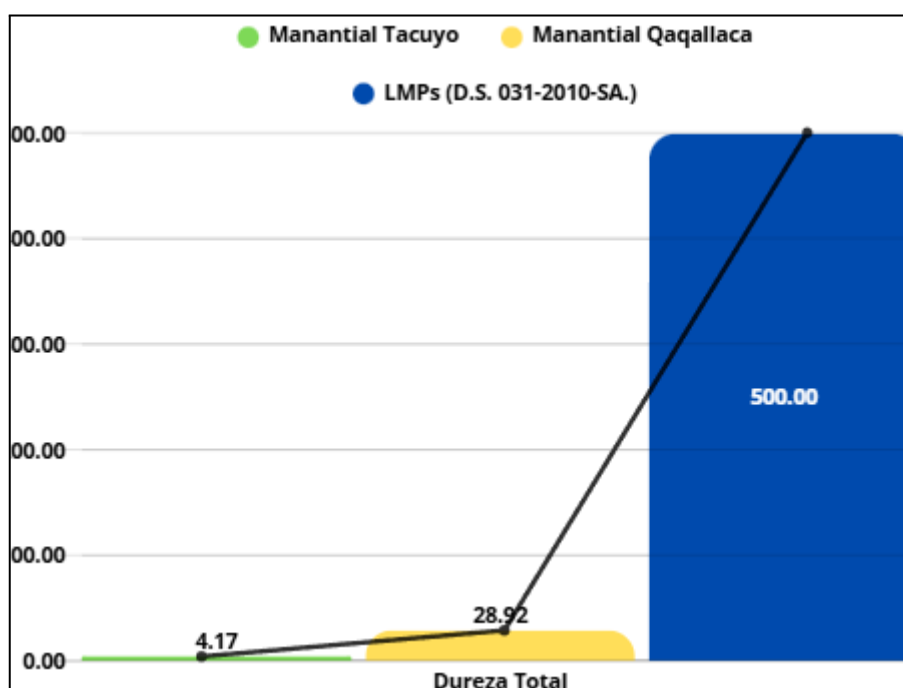
#### 4.2.1.3 Análisis del parámetro Sólidos Totales Disueltos



**Figura 07:** Media de Sólidos Totales Disueltos de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En la figura 07, se observa que los resultados de sólidos totales disueltos evidencian una media de 122.7 mg/L en Tacuyo y de 566.3 mg/L en Qaqallaca, ambos por debajo del límite de 1000 mg/L estipulado por el DS 031-2010-SA. En estudios previos, por ejemplo, Zegarra (2016), destacó que en manantiales con una recarga bien controlada los TDS tienden a mantenerse en niveles bajos, situación que guarda similitud con los valores registrados en Tacuyo. En contraste, Alcca (2023), señaló que en fuentes expuestas a procesos erosivos intensos se observan concentraciones más altas de sólidos disueltos, aunque sin sobrepasar los límites normativos, lo cual se corresponde con lo hallado en Qaqallaca. Estos hallazgos, al ser comparados con nuestros datos, refuerzan la idea de que las diferencias en TDS responden a la interacción de factores ambientales y de manejo, lo que resulta fundamental para garantizar la calidad del agua destinada al consumo humano.

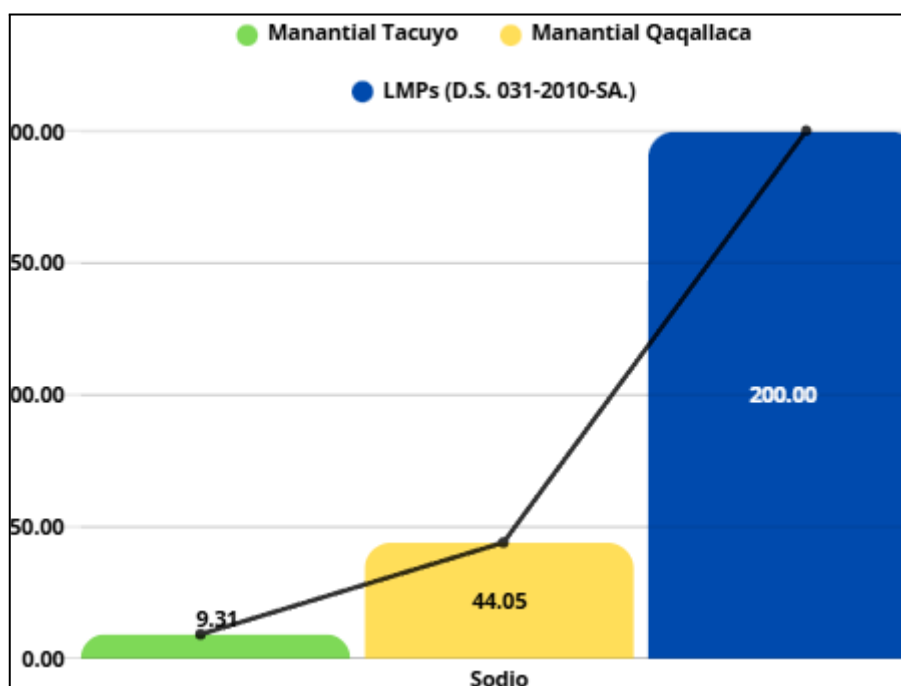
#### 4.2.1.4 Análisis del parámetro Dureza Total



**Figura 08:** Media de Dureza Total de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

Los datos de la Figura 08, para dureza total indican concentraciones de 4.17 mg CaCO<sub>3</sub>/L en Tacuyo y 28.92 mg CaCO<sub>3</sub>/L en Qaqallaca, valores significativamente inferiores al límite máximo establecido por el DS 031-2010-SA (500 mg CaCO<sub>3</sub>/L). Investigaciones previas, como el monitoreo del manantial Paccha desarrollado por Pantoja (2024), han evidenciado que sistemas con recarga hídrica regulada mantienen concentraciones reducidas de este parámetro, mientras que en fuentes afectadas por procesos erosivos naturales o antrópicos se registran valores moderadamente superiores, aunque siempre dentro del rango normativo. Esta comparación sugiere que, pese a la mayor aportación mineral en Qaqallaca, la calidad del agua en términos de dureza es adecuada para consumo humano.

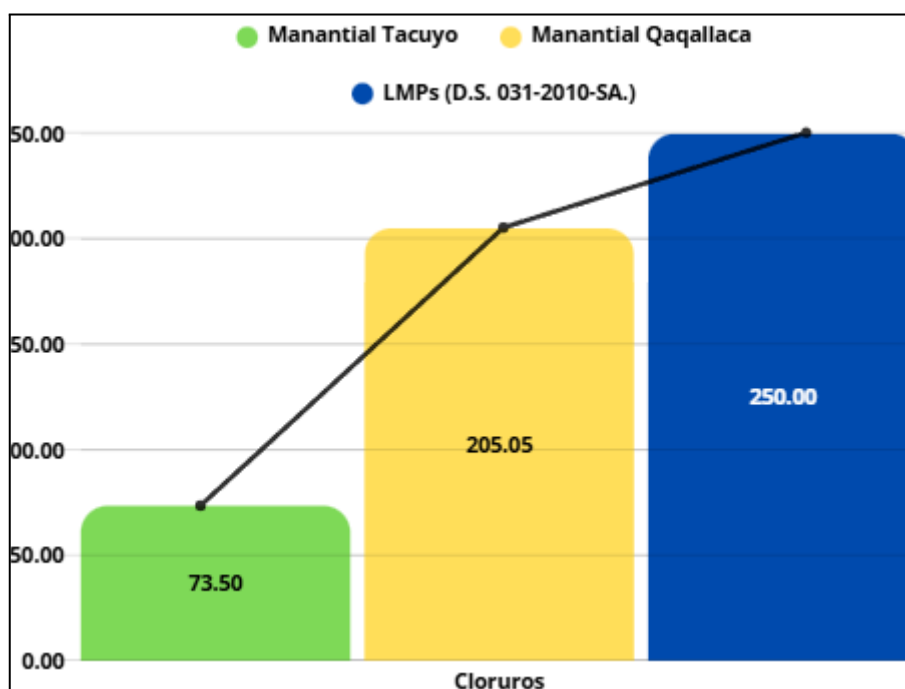
#### 4.2.1.5 Análisis del parámetro Sodio



**Figura 09:** Media de Sodio de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En la Figura 09, se encontró que los niveles de sodio son de 9.31 mg/L en Tacuyo y 44.05 mg/L en Qaqallaca, ambos muy inferiores al límite máximo permisible de 200 mg/L establecido en el DS 031-2010-SA. Estos resultados coinciden con lo reportado en estudios previos; por ejemplo, Ccapa (2024), observó que en manantiales con recarga controlada y menor exposición a procesos erosivos, como es el caso de Tacuyo, se registran concentraciones bajas de sodio. En contraste, investigaciones realizadas por Alcca (2023), señalan que en fuentes sujetas a intensos procesos de erosión se pueden presentar niveles de sodio más elevados, aunque permanecen dentro de los parámetros normativos, situación que se refleja en Qaqallaca. Esta comparación evidencia que, a pesar de la mayor liberación de minerales en Qaqallaca, la variación en sodio responde a diferencias en los procesos ambientales y de recarga, garantizando el cumplimiento de la normativa y aportando información relevante para la gestión y potabilización del recurso hídrico.

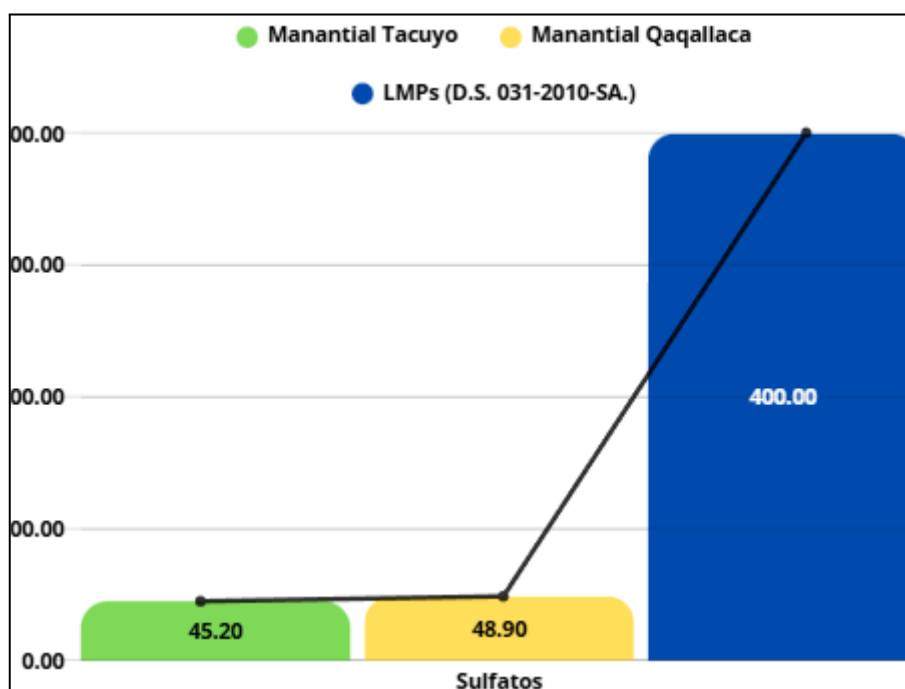
#### 4.2.1.6 Análisis del parámetro Cloruros



**Figura 10:** Media de Cloruros de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En la Figura 10, indican niveles de cloruros de 73.5 mg/L en Tacuyo y 205.05 mg/L en Qaqallaca, ambos dentro del límite máximo permisible de 250 mg/L del DS 031-2010-SA. Esto concuerda con lo reportado en estudios como el de Ccapa (2024), donde se observó que manantiales con recarga controlada presentan concentraciones bajas de cloruros, mientras que aquellos expuestos a procesos erosivos muestran valores más altos sin exceder los límites normativos. En consecuencia, aunque Qaqallaca presenta una mayor carga iónica debida a la mayor exposición ambiental, ambos manantiales cumplen con la normativa, lo que resalta la importancia de un adecuado manejo y monitoreo para garantizar la calidad del agua.

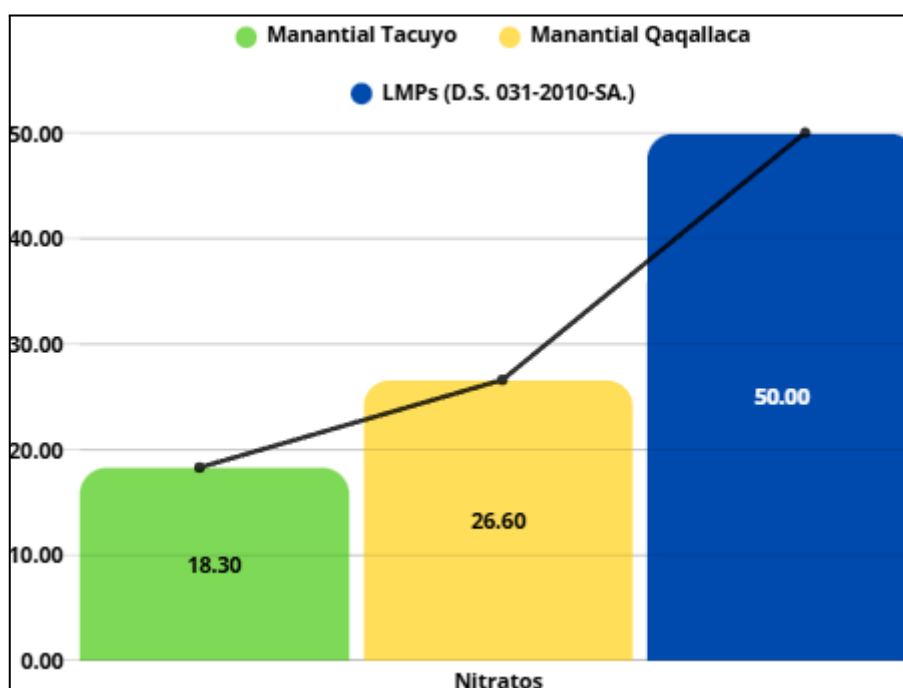
#### 4.2.1.7 Análisis del parámetro Sulfatos



**Figura 11:** Media de Sulfatos de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En la Figura 11, se identifica que los niveles de sulfatos se sitúan en 45.2 mg/L para Tacuyo y 48.90 mg/L para Qaqallaca, muy por debajo del límite máximo permisible de 400 mg/L establecido en el DS 031-2010-SA. Esta baja concentración indica que, en términos de sulfatos, ambos manantiales presentan una calidad del agua óptima para consumo humano. En antecedentes, estudios como el de Alcca (2023) han señalado que en manantiales con recarga controlada, los niveles de sulfatos suelen mantenerse en valores bajos, lo que es coherente con nuestros hallazgos. A pesar de que en entornos expuestos a procesos erosivos los sulfatos pueden incrementarse, nuestros resultados evidencian una estabilidad y baja variabilidad en este parámetro, reforzando la idea de que, en este aspecto, la calidad del agua se encuentra en condiciones adecuadas según la normativa.

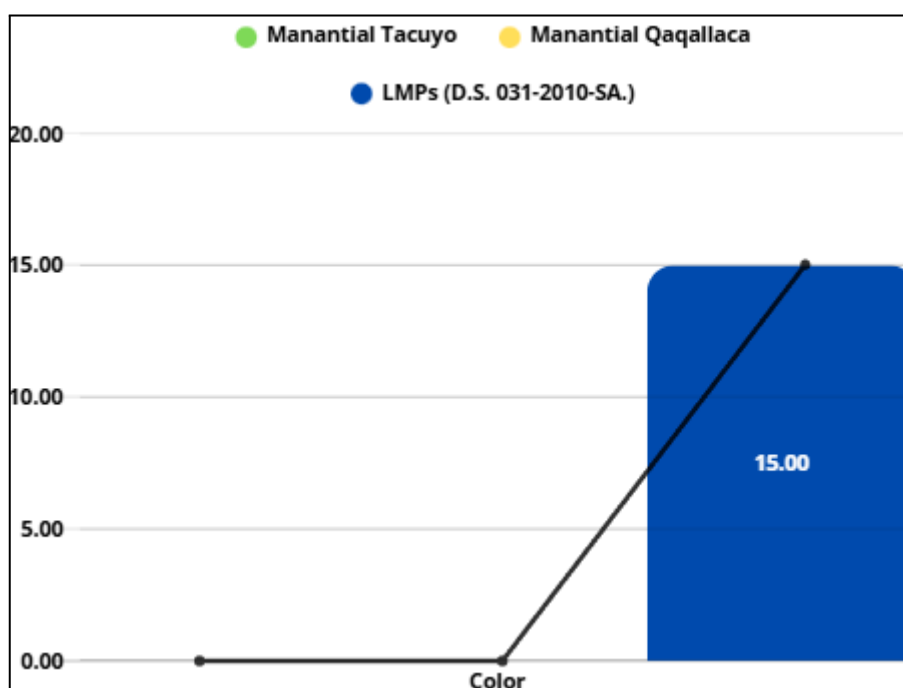
#### 4.2.1.8 Análisis del parámetro Nitratos



**Figura 12:** Media de Nitratos de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

Según la Figura 12, se determinaron niveles de nitratos de 18.30 mg/L en Tacuyo y de 26.60 mg/L en Qaqallaca, ambos muy inferiores al límite máximo permisible de 50 mg/L según el DS 031-2010-SA. Estos resultados indican que, aun cuando Qaqallaca presenta una mayor liberación de nutrientes por la interacción del agua con el sustrato, los valores se mantienen dentro de un rango seguro para consumo humano. Antecedentes en la literatura, como los reportados por Ccapa (2024) y Alcca (2023), demuestran que, en fuentes de agua bien gestionadas, las concentraciones de nitratos se mantienen por debajo de los umbrales normativos. Así, nuestros hallazgos corroboran que la calidad del agua en ambos manantiales es aceptable desde el punto de vista de la carga de nitratos, reflejando una adecuada dinámica de recarga y procesos naturales que no comprometen la potabilidad.

#### 4.2.1.9 Análisis del parámetro Color

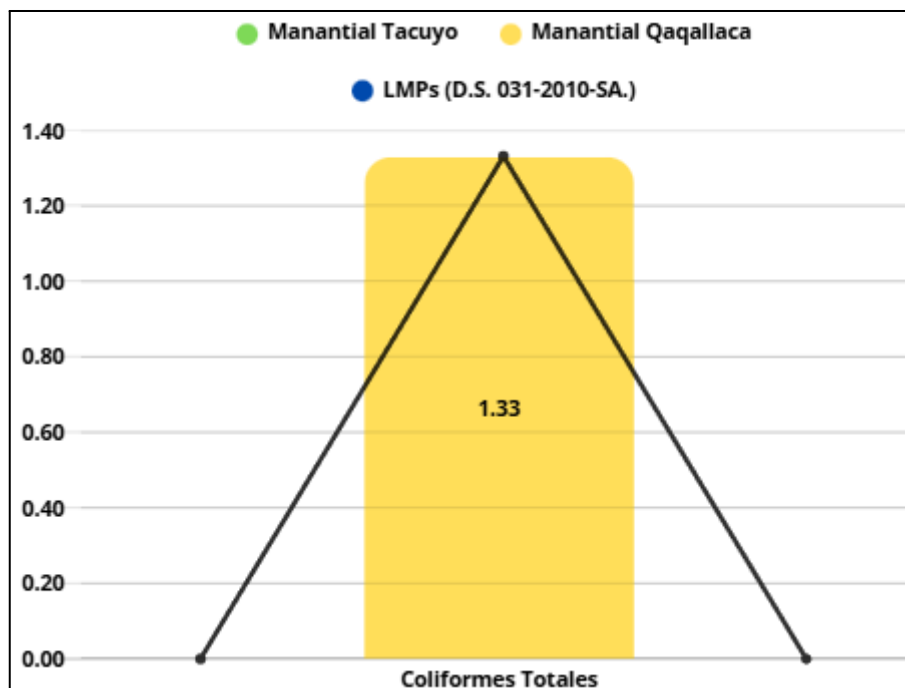


**Figura 13:** Media de Color de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En la Figura 13, se muestra el al parámetro organoléptico de color, ambos manantiales presentan agua clara, lo que se ajusta al límite máximo permisible establecido en el DS 031-2010-SA y se considera aceptable. Esta claridad, que sugiere una baja presencia de impurezas o sedimentos, coincide con lo reportado en estudios previos; por ejemplo, en el trabajo de León et al. (2022) sobre el manantial “El Paraíso” en Santiago de Cuba se evidenció que una baja coloración es un indicador clave de buena calidad estética y sensorial, ya que aguas prácticamente incoloras reflejan una adecuada gestión y ausencia de contaminantes visibles. Así, nuestros resultados refuerzan la importancia de mantener condiciones óptimas en el recurso hídrico para asegurar su potabilidad y aceptación sensorial.

## 4.2.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

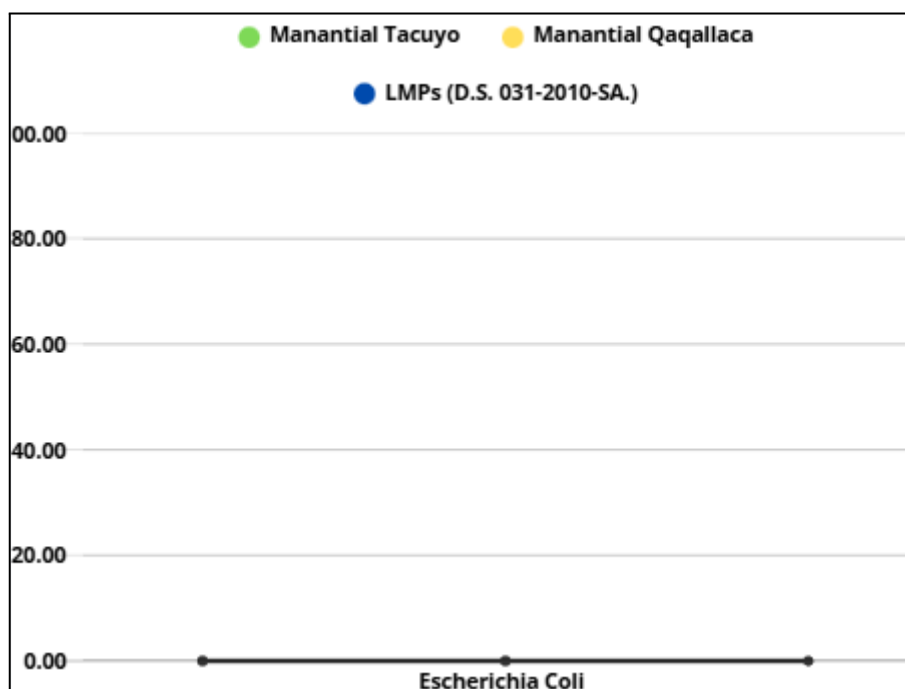
### 4.2.2.1 Análisis para el parámetro Coliformes Totales



**Figura 14:** Media de Coliformes Totales de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En la Figura 14, los resultados indican que el manantial Tacuyo presenta 0 CFU/100 mL de coliformes totales, mientras que Qaqallaca muestra un promedio de 1.33 CFU/100 mL, superando el límite máximo permisible de 0 CFU/100 mL para agua potable. Esto implica que, aunque la presencia de coliformes en Qaqallaca es muy baja, aún no cumple con la norma de potabilidad. Estudios previos, como los reportados por Challco (2023) y Pantoja (2024), han evidenciado que en manantiales expuestos a condiciones ambientales más dinámicas es común encontrar trazas de coliformes totales, lo que sugiere que la interacción del agua con el entorno puede introducir pequeñas concentraciones de estos indicadores. En contraste, la ausencia de coliformes en Tacuyo refuerza que, en entornos con recargas más controladas, es posible mantener parámetros microbiológicos en niveles adecuados para el consumo humano. Esta comparación resalta la importancia de implementar medidas de tratamiento o gestión en fuentes como Qaqallaca para asegurar el cumplimiento normativo y la potabilidad del agua.

#### 4.2.2.2 Análisis para el parámetro *Escherichia Coli*



**Figura 15:** Media de *Escherichia Coli* de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca

En cuanto a *Escherichia coli*, ambos manantiales presentan 0 CFU/100 mL, cumpliendo así de manera íntegra con el límite máximo permisible de 0 CFU/100 mL según el DS 031-2010-SA. Este hallazgo es crucial para asegurar la potabilidad del agua, y se alinea con estudios previos, como los reportados por Ccapa (2024) y Challco (2023), quienes subrayan que la ausencia de *E. coli* es indispensable para confirmar la calidad microbiológica en fuentes de agua destinadas al consumo humano.

### 4.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

#### 4.3.1. CONTRASTE DE HIPÓTESIS GENERAL

##### Hipótesis Alterna (Ha):

La calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno - 2025, no cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

##### Hipótesis Nula (Ho):

La calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno - 2025, cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

Resultados:

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca muestran que, en general, ambos manantiales cumplen con la mayoría de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la normativa. Sin embargo, el manantial Qaqallaca presenta concentraciones de coliformes totales que exceden el límite permitido, lo que implica que, bajo esta condición, el agua no es apta para el consumo humano sin tratamiento adicional.

Conclusión del contraste:

Los parámetros fisicoquímicos de ambos manantiales se encuentran dentro de los márgenes establecidos, lo que permite mantener la hipótesis nula en ese aspecto. Sin embargo, debido al exceso de coliformes en el manantial de Qaqallaca, se rechaza la hipótesis nula en cuanto a la calidad microbiológica del agua.

#### **4.3.2. CONTRASTE DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 1**

Hipótesis Alterna (Ha):

La concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP), establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

Hipótesis Nula (Ho):

La concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, no exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP), establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

Resultados:

Las evaluaciones realizadas muestran que tanto el manantial Tacuyo como Qaqallaca mantienen sus niveles fisicoquímicos dentro de los límites permitidos, cumpliendo con los

estándares en parámetros como pH, conductividad, sólidos disueltos, dureza, sodio, cloruros, sulfatos y nitratos.

Conclusión del contraste:

Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ), ya que no se encontró evidencia de que las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos excedan los LMP establecidos en la normativa.

#### **4.3.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 2**

Hipótesis Alternativa ( $H_a$ ):

La concentración de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, excede los Límites Máximos Permisibles (LMP), establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

Hipótesis Nula ( $H_0$ ):

La concentración de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, no excede los Límites Máximos Permisibles (LMP), establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA.

Resultados:

Los resultados indican que ambos manantiales presentan condiciones microbiológicas aceptables, con la excepción del manantial Qaqallaca, donde se detectó una concentración de coliformes totales superior al límite permitido.

Conclusión del contraste:

Dado que el manantial Qaqallaca excede el límite en coliformes totales, se descarta la hipótesis nula, señalando que su agua no es apta para el consumo humano sin tratamiento adecuado en cuanto al aspecto microbiológico.

#### **4.3.4. CONTRASTE DE HIPÓTESIS ESPECÍFICA 3**

Hipótesis Alternativa ( $H_a$ ):

Existe diferencia en la calidad del agua para consumo humano de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno.

### Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>):

No existe diferencia en la calidad del agua para consumo humano de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, Acora, Puno.

### Resultados:

Los análisis comparativos entre los manantiales Tacuyo y Qaqallaca muestran diferencias significativas en varios parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Los valores de Qaqallaca son más altos en parámetros como la conductividad, sólidos totales disueltos, dureza, sodio y cloruros, lo que indica una mayor carga mineral. Además, la presencia de coliformes en Qaqallaca subraya la diferencia en la calidad microbiológica del agua entre ambos manantiales.

### Conclusión del contraste:

Se acepta la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>), ya que existen diferencias significativas en la calidad del agua para consumo humano entre los manantiales Tacuyo y Qaqallaca, tanto en los parámetros fisicoquímicos como microbiológicos.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** La calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaqallaca en el centro poblado de Culta, muestra diferencias notables en los parámetros analizados, evidenciando que ambos cumplen en su mayoría con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el DS 031-2010-SA. Sin embargo, dichas diferencias resaltan la influencia de procesos naturales y de manejo en la potabilidad del recurso.

**SEGUNDA:** Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos revelan que Tacuyo presenta niveles bajos de sólidos totales disueltos (122.7 mg/L), dureza total (4.17 mgCaCO<sub>3</sub>/L), sodio (9.31 mg/L) y cloruros (73.5 mg/L), mientras que Qaqallaca exhibe valores superiores en sólidos totales disueltos (566.3 mg/L), dureza total (28.92 mg/L), Sodio (44.05 mg/L) y Cloruros (205.05 mg/L), aunque en todos los casos se mantienen dentro de los LMP. Esto indica que, a pesar de la mayor carga mineral en Qaqallaca, ambos manantiales presentan una calidad fisicoquímica aceptable para el consumo humano.

**TERCERA:** La concentración de los parámetros microbiológicos en ambos manantiales indican que tanto para *Escherichia coli* y coliformes totales presentaron 0 CFU/100 mL, cumpliendo con la normativa mientras que en el manantial Qaqallaca exhibió una concentración de 1.33 CFU/100 mL excediendo los límites establecido por la norma de calidad del agua, por lo que no es apta para el consumo humano.

**CUARTA:** La comparación de los resultados muestra diferencias notables en la concentración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Mientras que el manantial Tacuyo presenta una conductividad de 171.3 µS/cm, TDS de 122.7 mg/L, dureza de 4.17 mgCaCO<sub>3</sub>/L, y ausencia de coliformes, el manantial Qaqallaca exhibió valores superiores,

con una conductividad de 1030  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , TDS de 566.3 mg/L, dureza de 28.92 mg/L, sodio de 44.05 mg/L, cloruros de 205.05 mg/L, y presencia de 1.33 CFU/100 mL de coliformes. Estas variaciones podrían deberse a factores ambientales y antropogénicos, lo que constituye un riesgo para la salud al consumir el agua sin un adecuado tratamiento.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Se recomienda a las autoridades locales y a las entidades de agua implementar tecnologías de tratamiento y añadir infraestructura adecuada para el manantial Qaqallaca, con el fin de eliminar la mínima presencia de coliformes totales y asegurar el estricto cumplimiento de los LMP sin comprometer la calidad físicoquímica del agua.

**SEGUNDO:** Se sugiere a los organismos encargados del recurso hídrico que desarrollen un sistema de seguimiento periódico, abarcando tanto parámetros físicoquímicos como microbiológicos, para detectar variaciones estacionales y responder oportunamente a los impactos ambientales derivados de procesos como la erosión y la variabilidad climática.

**TERCERO:** Se insta a las instituciones responsables y a los gobiernos locales a promover campañas de educación y sensibilización ambiental, involucrando a la comunidad en prácticas de manejo y protección de los manantiales, lo que contribuirá a mejorar la recarga y la calidad del agua de forma sostenible.

**CUARTO:** Se recomienda a los organismos y a las entidades ambientales realizar investigaciones adicionales que examinen en detalle la influencia de la geomorfología, el clima y la intervención humana en la calidad del agua, permitiendo ajustar y optimizar las estrategias de gestión del recurso hídrico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcca Chahuares, B. (2023). Calidad del agua para consumo humano de los manantiales Quipata- Totorpujo, Plaza, Estadio y Jjaquejihuata distrito de Platería – Puno—2022. *Universidad Privada San Carlos*.  
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/499><https://doi.org/10.244/2016>
- Ambientum. (2024, marzo 21). Cloruro en el agua: Métodos, importancia y práctica. *Ambientum Portal Líder Medioambiente*.  
<https://www.ambientum.com/ambientum/agua/la-importancia-de-la-determinacion-de-cloruro-en-la-calidad-del-agua.asp>
- Andrade, M. F. (Ed.). (2018). *Atlas – Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano / Climate and extreme events from the Central Altiplano of Peru and Bolivia 1981–2010*. Geographica Bernensia. <https://doi.org/10.4480/GB2018.N01>
- Aragón Cruz, A., López Hernández, J. R., Ávila Flores, O., Aragón Cruz, A., López Hernández, J. R., & Ávila Flores, O. (2022). Agua subterránea en Norteamérica, un caso de estudio: Riesgo de contaminación y uso de los manantiales en San Simón Almolongas, Oaxaca, México. *Norteamérica*, 17(1).  
<https://doi.org/10.22201/cisan.24487228e.2022.1.522>
- Ávila, J. A., Arciniega-Galaviz, M. A., Moreno-Rentería, K. J., & Llanes-Cárdenas, O. (2024). Contaminación microbiológica en agua potable de localidades rurales en el municipio de Ahome, Sinaloa, México. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 15(29), Article 29.  
<https://doi.org/10.23913/ride.v15i29.2182>
- Baca Llacua, E., & Valdez Acero, R. D. (2023). Evaluación de la calidad microbiológica del agua de manantial para consumo humano, Viques 2022. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/5709>
- Bridgewater, L. L., Baird, R. B., Eaton, A. D., Rice, E. W., American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*

- (23rd edition). American Public Health Association.
- Cabrera Molina, E., Hernández Garciadiego, L., Gómez Ruíz, H., & Cañizares Macías, M. del P. (2020). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.
- Calixto, N. J., Becerra Moreno, D., & Cárdenas-Gutiérrez, J. A. (2023). *Causas y consecuencias de la contaminación de aguas*. Bogotá - Ediciones Nueva Jurídica. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6720>
- Cansaya Quispe, E. S., & Nabenta Aguilar, E. A. (2018). *Investigación para la evaluación de parámetros en agua subterránea y su potabilización para el abastecimiento en la localidad de Samuel Pastor Provincia de Camaná*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6084>
- Ccapa Huayta, L. C. (2024). Calidad del agua para consumo humano del sector Tunuhiri Grande centro poblado de Ichu—Puno—2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/827>
- Challco Jimenez, G. K. (2023). Determinación de la calidad del agua para consumo humano del manantial Marampampa distrito de Ocobamba, Cusco 2023. *Universidad Privada San Carlos*. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/532>
- Chapman, D. (2021). *Water Quality Assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2.<sup>a</sup> ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003062103>
- Contreras Chura, H., Belizario Quispe, G., & Chui Betancur, H. N. (2023). CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LOS MANANTIALES EN LA PARCIALIDAD DE JISCULLAYA, EL COLLAO, PUNO, PERÚ. *Revista Boliviana de Química*, 40(2). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.2.1>
- Custodio, E. & Manuel, L. (2020). *HIDROLOGIA SUBTERRANEA (T. 1) | EMILIO CUSTODIO GIMENA | Casa del Libro*.

<https://www.casadellibro.com/libro-hidrologia-subterranea-t-1/9788428204477/273825>

Figueroa Choque, Y. N. (2024). Calidad del agua de manantiales en la urbanización villa Santa Rosa de la ciudad de Puno—2024. *Universidad Privada San Carlos*.  
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/888>

IBERDROLA. (2022). *La contaminación del agua: Cómo no poner en peligro nuestra fuente de vida*. Iberdrola.  
<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>

L. Acosta, S. Fuentes, & C. Gonzales. (2022). *Sulfatos en agua potable—L. Acosta, S. Fuentes y C. González. Departamento de Lic. En Química—Studocu*.  
<https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/quimica-analitica/sulfatos-en-agua-potable/10457235>

León-Duharte, L., Arada-Pérez, M. de los Á., Vila-Torres, L., Fernández-Estrada, A., Chibinda, C., León-Duharte, L., Arada-Pérez, M. de los Á., Vila-Torres, L., Fernández-Estrada, A., & Chibinda, C. (2022). Evaluación de la calidad del agua del manantial “El Paraíso” en Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 34(2), 303-314.

Martos-López, Á. (2021). *La importancia del agua para nuestro planeta*.  
<http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/2374>

Miller, G. T. (2007). *Environmental science: Sustaining the earth* (3rd ed). Wadsworth Pub. Co.

MINSA. (2010). *Decreto Supremo N.° 031-2010-SA*.  
<https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>

OMS. (2021). *Drinking-water*.  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Pedraza, A. P. C. (2024). El derecho humano al agua potable en Colombia: Avances, desafíos y responsabilidades compartidas. *Revista Internacional del Instituto de Pensamiento Liberal*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.51660/ripl.v1i2.40>

- Pérez-López, E. (2021). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14.  
<https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Pimentel Pantoja, E. J. (2024). *Evaluación de la calidad de agua para consumo humano del Manantial de Paccha, Provincia de Huari, 2022*.  
<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/10146>
- Rafael, M. G. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Díaz de Santos.
- Ramírez, C. A. S. (2021). *Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.
- Reyes, C. A. T., Villanueva, R. A. C., Mejía, G. V., Martínez, R. C., & Martínez, D. M. B. (2022). Evaluación de la calidad del agua de manantiales ubicados en la comunidad El Platanal, Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita*, 85, Article 85.  
<https://doi.org/10.35830/cn.vi85.658>
- Rodriguez Alvarado, S., & Salazar Cabañas, J. R. (2024). *Calidad del Agua para Consumo Humano del Centro Poblado de Chetilla, Departamento de Cajamarca, Perú 2023*. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/21828>
- Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y., & Escobar, J. C. (2021). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Sánchez Aroca, S. A. (2023). *Calidad microbiológica del agua de consumo humano: La realidad en el Ecuador*. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39942>
- Secaira, S. de, & Elizabeth, S. (2022). *Diagnóstico de Escherichia coli como indicador de calidad sanitaria del agua y alimentos*. [bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8891>
- Torre Villanueva, A. A. de la. (2017). La gestión del agua en el Perú. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/592>
- Velasquez Mamani, G. (2024). Evaluación de la calidad de agua para consumo humano en el Centro Poblado de Viluyo del Distrito de Pichacani – Laraqueri, Puno—2023.

Universidad Privada San Carlos.

<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/989>

Velázquez-Chávez, L. de J., Ortiz-Sánchez, I. A., Chávez-Simental, J. A., Pámanes-Carrasco, G. A., Carrillo-Parra, A., & Pereda-Solís, M. E. (2023). Influencia de la contaminación del agua y el suelo en el desarrollo agrícola nacional e internacional. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25(1), 1-13.

World Health Organization (Ed.). (2022). *Guidelines for drinking-water quality* (Fourth edition incorporating the first and second addenda). World Health Organization.

Yaneth, C. C., Myriam. (2017). *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Ediciones USTA.

Zegarra Chávez, D. (2016). Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica del manantial Huañambra en José Galvez—Celendín. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <https://doi.org/10/Z44/2016>

## ANEXOS

## Anexo 01: Matriz de consistencia

### MATRIZ DE CONSISTENCIA: CALIDAD DEL AGUA DE LOS MANANTIALES TACUYO Y QAQALLAKA EN EL CENTRO POBLADO DE CULTA, ACORA, PUNO - 2025

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>GENERAL</b> ¿Cuál es la calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka del centro poblado de Culta, distrito de Acora, Puno, cumplirá con los límites máximos permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA en 2025?</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> ¿En qué medida la concentración de los parámetros fisicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka del centro poblado de Culta, distrito de Acora, Puno cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA?</p> <p>¿En qué medida la concentración de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka del centro poblado de Culta, distrito de Acora, Puno, cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA?</p> <p>¿Existirá diferencia en la calidad del agua para consumo humano entre los manantiales Tacuyo y Qaallaka del centro poblado de Culta, distrito de Acora, Puno?</p>	<p><b>GENERAL</b> Evaluar la calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka en el centro poblado de Culta, Acora, Puno - 2025, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> <b>Determinar</b> la concentración de parámetros fisicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.</p> <p><b>Determinar</b> la concentración de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles (LMP) para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA.</p> <p><b>Comparar</b> la calidad del agua para consumo humano entre los manantiales Tacuyo y Qaallaka del centro poblado de Culta, distrito de Acora, Puno.</p>	<p><b>GENERAL</b> La calidad del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka en el centro poblado de Culta, Acora, Puno - 2025, no cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.</p> <p><b>ESPECÍFICAS</b> <b>La concentración</b> de los parámetros fisicoquímicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.</p> <p><b>La concentración</b> de los parámetros microbiológicos del agua de los manantiales Tacuyo y Qaallaka en el centro poblado de Culta, Acora, Puno, exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) D.S. N° 031-2010-SA.</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Calidad del agua</p>	<p>Físico y Organoléptico</p> <p><b>Variable independiente:</b> Concentración de parámetros</p> <p>Microbiológico</p> <p>Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para el consumo humano, establecidos en el D.S. N° 031-2010-SA</p>	<p>Turbidez Color Sabor Olor Temperatura Conductividad Eléctrica Sólidos Suspendidos Totales</p> <p>pH Sólidos Disueltos Totales Oxígeno Disuelto Nitratos y Nitritos Cloruros Sulfatos Dureza Total</p> <p>Coliformes Totales Escherichia Coli</p> <p>Cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de agua</p> <p>No Cumple con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de agua</p>	<p><b>Diseño:</b> Descriptivo, no experimental</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Población y muestra:</b> Manantial Qaallaka (3 muestras directas) y manantial Tacuyo (3 muestras representativas tomadas de diferentes piletas). Muestreo no probabilístico</p> <p><b>Técnicas:</b> Registro</p> <p><b>Instrumentos:</b> Registro de campo. LMP D.S. N° 031-2010-SA.</p> <p>Diseño Estadístico: descriptivo tablas y figuras, tendencia central media aritmética</p>	



**Anexo 03: Límites máximos Permisibles (LMP) para consumo humano en el reglamento  
D.S. N°031-2010-SA.**

**ANEXO I  
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. <i>E. Coli</i>	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



**ANEXO II**  
**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)	umho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoníaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeso	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad



ANEXO III

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE  
PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Níquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015
Parámetros Orgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Trihalometanos totales (nota 3)		1,00
2. Hidrocarburo disuelto o emulsionado; aceite mineral	mgL <sup>-1</sup>	0,01
3. Aceites y grasas	mgL <sup>-1</sup>	0,5
4. Alacloro	mgL <sup>-1</sup>	0,020
5. Aldicarb	mgL <sup>-1</sup>	0,010
6. Aldrin y dieldrin	mgL <sup>-1</sup>	0,00003
7. Benceno	mgL <sup>-1</sup>	0,010
8. Clordano (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0,0002
9. DDT (total de isómeros)	mgL <sup>-1</sup>	0,001
10. Endrin	mgL <sup>-1</sup>	0,0006
11. Gamma HCH (lindano)	mgL <sup>-1</sup>	0,002
12. Hexaclorobenceno	mgL <sup>-1</sup>	0,001
13. Heptacloro y heptacloroepóxido	mgL <sup>-1</sup>	0,00003
14. Metoxicloro	mgL <sup>-1</sup>	0,020
15. Pentaclorofenol	mgL <sup>-1</sup>	0,009
16. 2,4-D	mgL <sup>-1</sup>	0,030
17. Acrilamida	mgL <sup>-1</sup>	0,0005
18. Epiclorhidrina	mgL <sup>-1</sup>	0,0004
19. Cloruro de vinilo	mgL <sup>-1</sup>	0,0003
20. Benzopireno	mgL <sup>-1</sup>	0,0007
21. 1,2-dicloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0,03
22. Tetracloroetano	mgL <sup>-1</sup>	0,04



**Anexo 04:** Resultados del análisis de laboratorio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los manantiales en el centro poblado de Culta.




**CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE AGUA**

Análisis N°: Fecha de Entrada: 10 de febrero del 2025 Fecha de Certificación: 17 de febrero del 2025 Sistema de Riego:	Localización: Manantial Tacuyo, Manantial Principal MAN-01T, Centro Poblado Culta, Jeanmarco Straus Páez Flores
---	---

Determinaciones			Representación gráfica	Muy baja	Baja	Normal	Alta	Muy alta
pH	7,65							
C.E.	160,00	25°C (µS/cm)						
Sales Totales	115,00	(Mg/l)						
Dureza Total	4,00	CaCO <sub>3</sub> (G.H.F.)						
Alcalinidad total		CaCO <sub>3</sub>						
R.A.S.	1,70							
CATIONES								
	meq/l	mg/l						
Calcio	0,57	11,50						
Magnesio	0,23	2,80						
Potasio	0,01	0,38						
Sodio	0,39	9,00						
<b>TOTAL</b>	<b>1,21</b>							
ANIONES								
	meq/l	mg/l						
Cloruros	1,97	70,00						
Sulfatos	0,92	44,00						
Carbonatos	0,00	0,00						
Bicarbonatos	0,14	8,30						
<b>TOTAL</b>	<b>3,03</b>							

Otras Determinaciones	Resultado	
	meq/l	mg/l
Nitrosos (N en NO <sub>2</sub> )	0,28	17,50
	UFC/100ml	UFC/100ml
Coliformos Totales	0,00	0,00
Escherichia Coli	0,00	0,00

Clasificación, Reversión: CIST.
R.A.S. Aguas de buena calidad aptas para el riego
S.C.R. Agua recomendable
Tipo de Agua: Muy blanda
Diagnóstico y Recomendaciones (Norma de Calidad de Agua): Agua Excelente buena.



Ing. Jorge Chirhua Rojas  
Responsable Laboratorio Sede Illpa Puno

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n  
Puno, Puno, Perú  
T: (051)363-812

**Figura 16:** Certificado de Análisis de Agua (Manantial Tacuyo - Pileta 01T)











**Anexo 05:** Panel fotográfico



**Figura 22:** Manantial Qaqallaca - Naciente principal



**Figura 23:** Pileta domiciliaria



**Figura 24:** Recolección de muestras del Manantial Tacuyo (Pileta 01T - Cercano al nacimiento)



**Figura 25:** Recolección de muestras del Manantial Tacuyo (Pileta 02T - área intermedia)



**Figura 26:** Recolección de muestras del Manantial Tacuyo (Pileta 03T - Extremo final)



**Figura 27:** Recolección de muestras del Manantial Qaqallaca (Punto de Origen - 01Q, 02Q, 03Q)