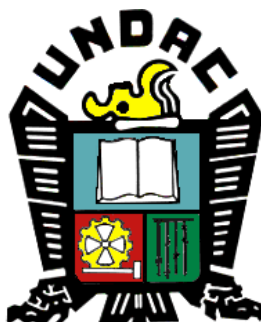


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Evaluación de la potabilidad del agua en la zona rural del caserío**

**Retamayoc, Distrito de Tomaykichua, Huánuco, conforme al**

**Decreto Supremo N° 031-2010-SA**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

**Autores:**

**Bach. Job Henry BEJARANO VICENTE**

**Bach. Rosa Angelica VILCA CAJAHUAMAN**

**Asesor:**

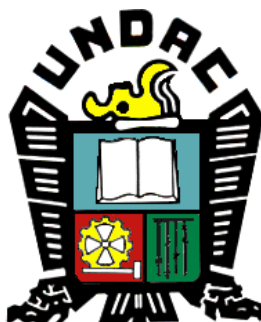
**Mg. Josué Hermilio DIAZ LAZO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2024**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Evaluación de la potabilidad del agua en la zona rural del caserío**

**Retamayoc, Distrito de Tomaykichua, Huánuco, conforme al**

**Decreto Supremo N° 031-2010-SA**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. Eleuterio Andrés ZAVALETA SANCHEZ**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Rosario Marcela VASQUEZ GARCIA**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación

### INFORME DE ORIGINALIDAD N° 213-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

### **Evaluación de la Potabilidad del Agua en la Zona Rural del Caserío Retamayoc, Distrito de Tomaykichua, Huánuco, conforme al Decreto Supremo N° 031-2010-SA**

Apellidos y nombres de los tesisistas:

**Bach. BEJARANO VICENTE, Job Henry**

**Bach. VILCA CAJAHUAMAN, Rosa Angelica**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. DIAZ LAZO, Josué Hermilio**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Ambiental**

Índice de Similitud

**17 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 8 de noviembre del 2024



Firmado digitalmente por MELBA  
CACERES Reynaldo FAU  
20154600490 scb  
Módulo: Soy el autor del documento  
Fecha: 08.11.2024 11:53:06 -05:00

## **DEDICATORIA**

A Dios, por sus innumerables bendiciones y por darme la fortaleza para alcanzar mis metas.

A mis padres, quienes han sido los pilares de mi educación, mi fuente de inspiración y mi guía en este camino de superación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a mis profesores, el Dr. Héctor Oscanoa Salazar, el Dr. Rommel López Alvarado, el Dr. David Johnny Cuyubamba Zevallos, la Mg. Rosario Vásquez García, el Mg. Josué Díaz Lazo, el Mg. Edgar Perez Juzcamayta, el Mg. Lucio Rojas Vitor, y todos los demás docentes que fueron mis mentores. Sus enseñanzas y guía han sido fundamentales para mi desarrollo académico y profesional. La dedicación y pasión por el conocimiento de cada uno de ellos han dejado una marca indeleble en mi vida.

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como propósito evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano en las poblaciones rurales del caserío Retamayoc, en el distrito de TomayKichua, provincia de Ambo, en términos de parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos, conforme al DS N° 031-2010-SA. Se realizaron análisis de coliformes totales, termotolerantes, E. Coli y otros parámetros en tres puntos clave: antes de ingresar a la planta de tratamiento, en los reservorios, y en la red domiciliaria. Las muestras se recolectaron siguiendo los protocolos establecidos de monitoreo y seguridad, y fueron enviadas para su análisis a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y de DIGESA Huánuco. Los resultados fueron comparados con los estándares del DS N° 031-2010-SA. El análisis reveló un pH ligeramente alcalino, con valores entre 7.51 y 7.56, dentro de los límites permisibles. La conductividad eléctrica osciló entre 173 y 192  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , cumpliendo con la normativa, y el TDS registrado fue de 84 mg/L, acorde con la regulación vigente. La turbidez fue de 1 NTU, lo que sugiere una buena calidad del agua, y el color verdadero se mantuvo en 2 UCV, ambos parámetros dentro de los límites establecidos. En cuanto a los metales, los niveles de zinc y cobre estuvieron muy por debajo de los límites máximos permitidos, mientras que el hierro superó el límite con valores entre 0.4525 y 1.4256 mg/L. Los niveles de manganeso y magnesio fueron significativamente bajos, aunque el magnesio no cuenta con un límite específico en la normativa. El agua también mostró concentraciones bajas de sodio y potasio, adecuadas para el consumo humano, y los cloruros se mantuvieron bien por debajo del límite máximo permitido. Finalmente, los análisis indicaron que los niveles de coliformes totales, termotolerantes y E. Coli se redujeron considerablemente tras el proceso de cloración, cumpliendo con los estándares de calidad requeridos.

**Palabras claves:** parámetros, microbiológicos, fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos, agua y consumo humano.

## ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the quality of water intended for human consumption in rural populations of the Retamayoc hamlet, in the TomayKichua district, Ambo province, in terms of physicochemical, inorganic and microbiological parameters, according to DS N° 031-2010-SA. Analyses of total coliforms, thermotolerant coliforms, E. Coli and other parameters were performed at three key points: before entering the treatment plant, in the reservoirs, and in the home network. The samples were collected following the established monitoring and safety protocols, and were sent for analysis to the laboratories of the National Agrarian University of La Selva and DIGESA Huánuco. The results were compared with the standards of DS N° 031-2010-SA. The analysis revealed a slightly alkaline pH, with values between 7.51 and 7.56, within the permissible limits. Electrical conductivity ranged from 173 to 192  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , in compliance with regulations, and the recorded TDS was 84 mg/L, in accordance with current regulations. Turbidity was 1 NTU, suggesting good water quality, and true colour remained at 2 UCV, both parameters within established limits. Regarding metals, zinc and copper levels were well below the maximum permitted limits, while iron exceeded the limit with values between 0.4525 and 1.4256 mg/L. Manganese and magnesium levels were significantly low, although magnesium does not have a specific limit in the regulations. The water also showed low concentrations of sodium and potassium, suitable for human consumption, and chlorides remained well below the maximum permitted limit. Finally, the analyses indicated that the levels of total coliforms, thermotolerant coliforms and E. Coli were considerably reduced after the chlorination process, meeting the required quality standards.

**Keywords:** parameters, microbiological, physicochemical, inorganic and microbiological, water and human consumption.

## INTRODUCCIÓN

El agua potable es aquella que está libre de contaminantes y es apta para ser ingerida, cubriendo las necesidades básicas de los seres humanos. La presencia de contaminantes en el agua puede tener efectos perjudiciales para la salud, por lo que es esencial su potabilización. Con esta premisa, se consideró crucial investigar la calidad del agua para consumo en la zona rural del caserío Retamayoc, Distrito de Tomaykichua – Huánuco, dado que aparentemente no cumple con los estándares de calidad requeridos según la normativa ambiental vigente (DS 031-2010-SA). Evaluar la calidad del agua es fundamental para proponer soluciones que mitiguen los contaminantes presentes y así garantizar la salud de la población. Los resultados obtenidos se compartieron con los funcionarios responsables del suministro de agua potable (JAS), contribuyendo a la mejora de la salud comunitaria.

En el capítulo I, se planteó y formuló el problema relacionado con la contaminación del agua destinada al consumo humano en zona rural del Caserío Retamayoc, Distrito de Tomaykichua – Huánuco. Aquí también se establecieron los objetivos de la investigación, centrados en evaluar la calidad del agua y compararla con los límites máximos permisibles, justificando la investigación como una herramienta para la toma de decisiones y la mejora continua de la calidad de vida de los habitantes.

El capítulo II abordó los antecedentes que sustentan la investigación, basándose en bibliografía relevante para desarrollar las bases teóricas y conceptuales sobre la calidad del agua potable. se formuló la hipótesis debido a la naturaleza de la investigación. Se definió la variable) y se elaboró la matriz de operacionalización de variables.

En el capítulo III, se justificó el tipo de investigación como aplicada y de nivel descriptivo, considerando como población el sistema de agua para consumo humano del Caserío Retamayoc, Distrito de Tomaykichua, con un vertido de 0,486 m<sup>3</sup>/s y tomando como muestra tres puntos de muestreo. Se utilizó la técnica de observación no experimental para la recolección de datos, y se empleó una ficha para recolectar



dicha información. Además, se describieron los protocolos de recolección de datos y se explicó el procesamiento y análisis de los mismos mediante estadística descriptiva.

En el capítulo IV se presenta e interpreta los resultados a través de figuras estadísticas, se explicó la prueba de hipótesis La discusión se basó en los antecedentes mencionados. Finalmente, se establecieron conclusiones y recomendaciones de acuerdo con los objetivos y resultados obtenidos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE FIGURAS	

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.3.	Formulación del problema .....	3
1.3.1.	Problema general .....	3
1.3.2.	Problemas específicos.....	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos .....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.5.1.	Justificación Ambiental .....	4
1.5.2.	Justificación Ambiental .....	4
1.5.3.	Justificación Económico.....	5
1.6.	Limitaciones de la investigación .....	5

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio .....	6
2.1.1.	Nivel internacional .....	6
2.1.2.	Nivel nacional .....	10

2.1.3.	Nivel Local .....	13
2.2.	Bases teóricas - científicas .....	14
2.3.	Definición de términos básicos .....	40
2.4.	Formulación de la Hipótesis .....	45
2.4.1.	Hipótesis general .....	45
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	45
2.5.	Identificación de variables .....	46
2.5.1.	Variable independiente .....	46
2.5.2.	Variable dependiente .....	46
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	47

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación.....	48
3.2.	Nivel de investigación.....	48
3.3.	Métodos de investigación .....	48
3.4.	Diseño de la investigación .....	49
3.5.	Población y muestra .....	50
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	51
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	51
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	52
3.9.	Tratamiento estadístico .....	52
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica .....	52

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo .....	54
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	61
4.3.	Prueba de Hipótesis .....	82
4.4.	Discusión de resultados .....	82

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	La importancia del agua en los ecosistemas .....	15
<b>Figura 2</b>	Uso del Agua por diferentes actividades .....	16
<b>Figura 3</b>	Distribución del agua en el planeta tierra.....	17
<b>Figura 4</b>	Consumo del agua en diferentes actividades humanas.....	24
<b>Figura 5</b>	Tratamiento primario para los sedimentos.....	28
<b>Figura 6</b>	Diseño de investigación .....	49
<b>Figura 7</b>	Zona rural Retamayoc.....	51
<b>Figura 8</b>	Toma de muestra en E1. En el riachuelo.....	55
<b>Figura 9</b>	Toma de muestra en el tratamiento primario .....	55
<b>Figura 10</b>	Toma de muestra en el tanque de almacenamiento de agua potable.....	56
<b>Figura 11</b>	En la salida de la planta de tratamiento.....	57
<b>Figura 12</b>	En la casa más alejada de la zona rural de Retamayoc .....	57
<b>Figura 13</b>	Muestras de agua para el laboratorio .....	59
<b>Figura 14</b>	Las muestras fueron analizadas en los laboratorios de análisis de suelos, agua y ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en el laboratorio referencial del Ministerio de Salud de Huánuco.....	60
<b>Figura 15</b>	Realizando las mediciones de los parámetros fisicoquímicos .....	60
<b>Figura 16</b>	Análisis de metales con el equipo de absorción atómica UNAS .....	61
<b>Figura 17</b>	Resultados del potencial de hidrogeno (pH) .....	62
<b>Figura 18</b>	Resultados de la conductividad eléctrica.....	63
<b>Figura 19</b>	Resultados solidos totales disueltos (STD).....	64
<b>Figura 20</b>	Resultados de la temperatura .....	65
<b>Figura 21</b>	Resultados de turbiedad .....	66
<b>Figura 22</b>	Resultados del color.....	67
<b>Figura 23</b>	Resultados del contenido de zinc.....	68
<b>Figura 24</b>	Resultados del contenido de cobre .....	69
<b>Figura 25</b>	Resultados del contenido de hierro .....	70

<b>Figura 26</b>	Resultados del contenido de manganeso.....	71
<b>Figura 27</b>	Resultados del contenido de calcio .....	72
<b>Figura 28</b>	Resultados del contenido de magnesio.....	73
<b>Figura 29</b>	Resultados del contenido de sodio.....	74
<b>Figura 30</b>	Resultados del contenido de potasio.....	74
<b>Figura 31</b>	Resultados del contenido de cloruros.....	75
<b>Figura 32</b>	Resultados del contenido de bicarbonatos .....	76
<b>Figura 33</b>	Resultados del contenido de dureza .....	77
<b>Figura 34</b>	Resultados del contenido de coliformes totales.....	79
<b>Figura 35</b>	Resultados del contenido de coliformes termotolerantes.....	80
<b>Figura 36</b>	Resultados del contenido de E. Coli.....	81

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

En la actualidad, la obtención de agua de calidad para el consumo humano es un recurso escaso en las áreas rurales de nuestro país, especialmente en la región de Huánuco. Garantizar el acceso a este recurso es crucial para cada individuo en la región. El ciclo natural del agua desempeña un papel fundamental al proporcionar agua de calidad en las zonas montañosas y de gran altitud. Este ciclo, que incluye la cordillera de los Andes, abastece continuamente la demanda de agua para los seres vivos, adaptándose a las características geográficas y políticas de cada región.

A nivel mundial, la calidad del agua es un tema recurrente y a menudo desencadena conflictos sociales. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas incluyen el Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento, pero a pesar de los esfuerzos para mejorar el acceso al agua, muchas personas en áreas rurales aún carecen de este servicio esencial en términos de calidad y cantidad para el consumo humano.

En Perú, en el año 2010, el Ministerio de Salud estableció el reglamento de la calidad del agua para el consumo humano a través del D.S. N° 031-2010-SA. El objetivo es garantizar la inocuidad del agua, protegiendo la salud y el

bienestar de la población. Aunque la aplicación de este reglamento avanza gradualmente en todo el país, especialmente en las zonas rurales, se requiere la participación activa de la sociedad civil y la responsabilidad de las autoridades locales y regionales para supervisar y asumir los costos de los estudios y monitoreos de la calidad del agua.

En la provincia de Ambo y en muchos lugares del país, la calidad y cantidad del agua de consumo humano varía según el número de habitantes en cada centro poblado. En el distrito de TomayKichua, zonas rurales de gran importancia, se estudió la calidad del agua para evitar posibles problemas de salud derivados del consumo de agua no apta. Los diferentes centros poblados de la provincia de Ambo cuentan con Juntas Administradoras de Servicio y Saneamiento (JASS) que se centran en la calidad del agua.

Dada la diversidad de condiciones ambientales: Al tener quebradas con deslizamiento rotacional reactivado, las pendientes de las laderas, la falta de cobertura vegetal arbórea, la actividad antrópica por el corte indiscriminado de taludes y la forma de la quebrada (angosta), en el caserío Retamayoc (3382 habitantes)<sup>1</sup> en el distrito de TomayKichua el estudio se enfoca en demostrar el cumplimiento de valores inorgánicos, como cloro residual libre, pH, temperatura, turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos, coliformes totales y coliformes termotolerantes.

## **1.2. Delimitación de la investigación.**

La investigación se delimita en un espacio temporal de realización de cinco meses del 2023 al 2024 (noviembre a marzo), teniendo como interacción

---

1 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA, edición octubre 2018, Tomo I, pág. 140 (chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\_digitaless/Est/Lib1570/10TOMO\_01.pdf).



en la delimitación geográfica de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es la condición de la calidad del agua de consumo humano en los parámetros: fisicoquímico, inorgánicos y microbiológico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo, ¿de acuerdo al DS N° 031-2010-SA?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la condición del agua de consumo humano, en el parámetro fisicoquímico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo?
- ¿Cuál es la condición del agua de consumo humano, en el parámetro inorgánico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo?
- ¿Cuál es la calidad del agua de consumo humano en el parámetro microbiológico, en función al cumplimiento del DS N° 031-2010-SA.

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la condición de la calidad del agua de consumo humano en los parámetros: fisicoquímico, inorgánicos y microbiológico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo, mediante el DS N° 031-2010-SA

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad del agua de consumo humano en el parámetro: fisicoquímico en las poblaciones de la zona rural del caserío

Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo, mediante el DS N° 031-2010-SA

- Evaluar la calidad del agua de consumo humano en el parámetro inorgánico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo, mediante el DS N° 031-2010-SA
- Evaluar la calidad del agua de consumo humano en el parámetro microbiológico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo, mediante el DS N° 031-2010-SA

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1. Justificación Ambiental**

El creciente problema de la contaminación y la degradación del medio ambiente se convierte día a día en una preocupación más aguda, con el potencial de afectar a todas las formas de vida en nuestro planeta. La utilización insostenible de los recursos naturales, especialmente el recurso hídrico representado por ríos y lagunas en el distrito de Tomay Kichwa y provincia de Ambo, amenaza la supervivencia de diversas especies de flora y fauna. Preservar la calidad del agua se vuelve indispensable para mantener la biodiversidad y asegurar la salud de nuestro entorno.

### **1.5.2. Justificación Ambiental**

Desde una perspectiva social, la atención a las poblaciones rurales del distrito de TomayKichua y provincia de Ambo con agua de calidad tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los habitantes, reflejándose en un mejor cuidado de la salud de las personas. El estudio propuesto, al realizar monitoreos en parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos, se erige como una pieza fundamental para el mejoramiento ambiental en los distritos de Ambo.

### **1.5.3. Justificación Económico**

En términos económicos, el cumplimiento de las normativas para mejorar la calidad del agua según el DS N° 031-2010-SA implica una inversión por parte del Estado peruano. Esta inversión está destinada a ayudar a los habitantes de las zonas rurales a asumir los costos asociados con el proyecto, que incluyen mejoras en el tratamiento del agua y la realización de los monitoreos necesarios para garantizar la eficacia del proyecto.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

La investigación está limitada por los presupuestos destinados al monitoreo de cada zona rural. Por lo tanto, solo se consideraron los parámetros de monitoreo obligatorios y primordiales para verificar la calidad del agua en la zona rural del caserío Retamayoc, en el distrito de TomayKichua y la provincia de Ambo. Estos parámetros incluyen cloro residual libre, pH, temperatura, turbiedad, conductividad, sólidos totales disueltos, inorgánicos, coliformes totales y coliformes termotolerantes.

Además, la población desconoce la importancia de consumir agua de calidad para el consumo humano, lo que representa un factor fundamental para que las personas no tomen conciencia sobre el cuidado y el consumo responsable del agua en las zonas rurales de estos distritos.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Nivel internacional**

**Petro & Wees (2014) Tesis pregrado - Universidad Tecnológica de Bolívar**, realizaron un estudio de investigación con el objetivo de evaluar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en el municipio de Turbaco. Se realizaron tomas de muestras en nueve puntos distintos, analizando parámetros tanto in situ como en laboratorio, y luego se compararon con las normativas vigentes. Los resultados fisicoquímicos indicaron una turbidez de 1.049 UNT y una dureza total promedio de 102.022 mg/L. En el análisis microbiológico, los niveles de coliformes totales oscilaron entre 10 y 30, siendo el punto con mayor cantidad de coliformes fecales de 21 NMP/100 mL.

Los resultados muestran que, en términos fisicoquímicos, la calidad del agua supera los valores permitidos por las normativas colombianas en la mayoría de los puntos analizados. La principal preocupación identificada fue la ausencia de cloro residual libre, lo que podría señalar deficiencias en el sistema de tratamiento del agua. Esta deficiencia se relaciona con el incumplimiento de los parámetros microbiológicos, especialmente los niveles de coliformes totales, que fueron superiores a los establecidos en varias estaciones.

**Loucif, Neffar, Menasria, Cherif Maazi, & ouhamdi (2020)**, llevaron a cabo una investigación para mantener la calidad estándar del agua en los ecosistemas acuáticos, lo que requiere un seguimiento continuo de sus características fisicoquímicas y bacteriológicas. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del agua del lago Tonga, ubicado en el noreste de Argelia. Se tomaron muestras de agua mensualmente, de enero a junio, en tres estaciones diferentes y a diversas profundidades.

Se midieron varios parámetros fisicoquímicos, incluyendo pH, conductividad eléctrica, turbidez, dureza, demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), concentraciones de materiales sólidos en suspensión, residuos secos, oxígeno disuelto, fosfato, nitritos, nitratos, amonio, calcio, magnesio, cloruro, potasio y dióxido de azufre. También se evaluó la densidad de grupos bacterianos, como bacterias heterótrofas totales, coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales.

El análisis fisicoquímico del agua del lago Tonga reveló un medio ligeramente alcalino con un pH entre 6,5 y 8,5, conductividad eléctrica menor de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , turbidez superior a 7,02 NTU, residuos secos menores a 2000 mg/L, materiales sólidos en suspensión de 11,8 mg/L a menos de 30 mg/L, oxígeno disuelto menor de 5 mg/L, fosfatos superiores a 5 mg/L, DBO<sub>5</sub> menor de 5 mg/L, nitratos menores de 50 mg/L, nitritos superiores a 0,1 mg/L, amonio (NH<sup>4+</sup>) superior a 0,5 mg/L, calcio (Ca<sup>2+</sup>) menor de 200 mg/L, magnesio (Mg<sup>2+</sup>) menor de 150 mg/L, cloruro (Cl<sup>-</sup>) mayor de 500 mg/L, potasio (K<sup>+</sup>) superior a 20 mg/L y sulfatos menores de 200 mg/L.

Los resultados microbiológicos mostraron la presencia de diversos grupos de bacterias fecales, con un promedio de  $32,3 \times 10^3$  UFC/100 mL para bacterias heterótrofas totales,  $24 \times 10^3$  UFC/100 mL para coliformes totales y fecales, y  $37 \times 10^3$  UFC/100 mL para estreptococos fecales. El lago Tonga está

actualmente en estado de eutrofización, y si no se adoptan medidas de gestión adecuadas a corto plazo, podrían ocurrir nuevas degradaciones graves del ecosistema.

**Pantelić, Dramićanin, Milovanović, Popović-Đorđević, & Kostić (2017)**, evaluaron muestras de agua del distrito de Rasina, Serbia, para determinar los principales parámetros físicos y químicos, así como los contaminantes microbiológicos. Los resultados se compararon con las normas de calidad del agua nacionales y de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Varias muestras contenían niveles de materia orgánica total, amoníaco, cloro residual, nitrito, nitrato, hierro y manganeso por encima de los límites establecidos por la legislación. En el caso de las muestras contaminadas con bacterias fecales, *Streptococcus faecalis*, bacterias mesófilas aerobias, bacterias coliformes y clostridios sulfito-reductores, se debe prestar especial atención a los métodos de desinfección del agua potable. Estos resultados indican que podrían existir riesgos potenciales para la salud debido al consumo de agua de fuentes contaminadas, lo cual puede conducir a enfermedades transmitidas por el agua.

**Sánchez, Cohim, & Kalid, (2015)**, El estudio propone evaluar la calidad del agua de lluvia recogida en tejados en tres etapas principales. En la primera etapa, las precipitaciones limpian la atmósfera urbana, eliminando contaminantes de aerosoles, gases y partículas volátiles finas. La segunda etapa aborda la contaminación en la cuenca de captación, donde el agua de lluvia arrastra partículas depositadas en la superficie del tejado y materiales del mismo. La tercera etapa se refiere a la primera descarga, almacenamiento y sistema de tuberías, donde ocurren distintos procesos que añaden contaminantes específicos al agua inicial. Solo en esta última etapa, tras desechar el agua de lluvia inicial altamente contaminada, algunos procesos físicos como la sedimentación y el aumento del pH pueden mejorar la calidad

del agua recogida. Este enfoque proporciona una visión clara de los procesos de contaminación en un sistema de recogida de aguas pluviales.

El análisis considera los contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos más comunes en sistemas de recogida de aguas pluviales, así como la posible presencia de patógenos transmitidos por el agua y contaminantes químicos emergentes. Esta evaluación se basa en una extensa revisión de 172 estudios científicos y técnicos previos.

**Hicham y otros (2022)**, realizaron un estudio sobre la susceptibilidad de las aguas subterráneas, enfocándose en la capacidad del medio para transmitir contaminantes desde la superficie hasta la zona saturada. La protección y gestión adecuada de los recursos hídricos subterráneos es esencial. Este trabajo se enmarca en el seguimiento de la evolución hidrogeoquímica y de la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca del Oued Kert, ubicada en la provincia de Driouch, en el este de Marruecos. Se determinaron las concentraciones de iones principales y los índices de contaminación. Las muestras se recogieron según la norma ISO 5665. Además del análisis aritmético de las estadísticas y el análisis de componentes principales, se interpretaron los datos analíticos sobre los fenómenos responsables de la mineralización mediante la clasificación hidroquímica del diagrama de Piper. Las aguas de la cuenca presentan una mineralización que varía de media a baja ( $760 < CE < 9500 \mu\text{S/cm}$ ), con más del 30% de las muestras mostrando concentraciones de nitrato superiores a la norma mundial. A nivel microbiológico, se detectó la presencia de bacterias coliformes ( $0 \text{ UFC/100 mL} < FC < 850 \text{ UFC/100 mL}$ ) y *Streptococcus fecal* ( $0 \text{ UFC/100 mL} < FS < 330 \text{ UFC/100 mL}$ ). Los niveles elevados de bacterias fecales indican la influencia de fosas sépticas y el uso de residuos animales en la vulnerabilidad de las aguas subterráneas.

### 2.1.2. Nivel nacional

**Cava y Ramos (2016)**, realizaron una investigación en el caserío Las Juntas, situado en el distrito de Pacora, departamento de Lambayeque, enfrenta serios desafíos en su sistema de abastecimiento de agua. Con una población de 550 habitantes según el INEI – CENSO 2013, el suministro de agua proviene de un pozo artesanal en mal estado, con tuberías obstruidas por sedimentos (sarro). Esta agua, que no ha sido analizada ni tratada, está causando problemas de salud entre los residentes.

Para abordar esta problemática, se llevó a cabo una investigación centrada en las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las características químicas, físicas, microbiológicas y organolépticas del agua consumida en Las Juntas? ¿Qué métodos alternativos de mejora pueden implementarse?

El objetivo principal de la investigación fue caracterizar el agua de consumo humano en Las Juntas desde una perspectiva físico-química y microbiológica. Se buscó identificar factores que afectan su calidad, verificar la consistencia en la desinfección del agua para eliminar organismos patógenos, y proponer un tratamiento que fortalezca este servicio en beneficio de la población.

La investigación también pretendió informar a los habitantes sobre la calidad del agua, concienciando sobre la necesidad de gestionar este recurso de manera técnica y racional. Se presentó una propuesta de medidas correctivas con el objetivo de mejorar las condiciones de vida y salud de la población, restaurando la calidad del recurso hídrico y contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

**Blanco (2018)**, el estudio se llevó a cabo en el distrito de Cabanillas, provincia de San Román, Región de Puno, durante los meses de agosto a octubre de 2018. El propósito fue evaluar los principales parámetros físico-



químicos y bacteriológicos en el ojo de agua Cohallaca, en el reservorio y en la red de distribución domiciliaria del distrito.

Para la investigación, se aplicaron las metodologías establecidas por la Resolución Jefatural N° 010 – 2016 - ANA, el manual de análisis HACH (2000) y el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano del MINAM (2015). Se realizaron tres muestreos en cada punto durante el período de evaluación de tres meses.

Los resultados mostraron valores significativos en los parámetros fisicoquímicos. En el ojo de agua, la temperatura registrada fue de 11.69 °C, la conductividad eléctrica fue de 906.67 DE ± 92.91 µS/cm, los cloruros alcanzaron 151.27 DE ± 53.07 y el pH fue de 7.20. En la red domiciliaria, la dureza total fue de 394.13 DE ± 31.29 mg/L y la alcalinidad de 252.91 DE ± 150.12.

En cuanto a los parámetros bacteriológicos, en el reservorio se detectaron sólidos disueltos totales de 370 DE ± 34.64 mg/L, coliformes totales de 303.33 DE ± 136.50 y coliformes fecales con 200 NMP/100 ml DE ± 45.83.

Estos resultados revelan una contaminación significativa en las aguas destinadas al consumo humano, siendo los coliformes fecales y totales indicadores críticos de la calidad ambiental. Los valores obtenidos sugieren que estas aguas no son aptas para el consumo humano, lo cual tiene implicaciones importantes para la salud pública.

**Gonzales, Acharte, Poma, Sánchez & Quispe (2023)**, realizaron investigaciones en las áreas rurales de gran altitud en Perú, la supervisión de la calidad del agua es fundamental para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con su disponibilidad, accesibilidad y pureza, tanto en términos de contaminación fecal como química. La carencia de información detallada sobre la calidad del agua destinada al consumo humano dificulta la implementación de estrategias de intervención efectivas para aquellos involucrados en su adecuada gestión.

El objetivo de esta investigación fue proporcionar datos actualizados sobre la calidad del agua en seis comunidades rurales de gran altitud en el departamento de Huancavelica, Perú. Las comunidades estudiadas fueron Antacocha, Huaylacucho, Pampachacra, Pueblo Libre, San Gerónimo y Sachapite, ubicadas entre 3782 y 4196 metros sobre el nivel del mar. En total, se analizaron 17 reservorios de agua en estas localidades.

La evaluación fisicoquímica incluyó variables como turbidez, conductividad eléctrica, pH, sólidos totales disueltos y potencial de oxidación. En el ámbito microbiológico, se analizaron los niveles de *Escherichia coli*, coliformes termotolerantes y coliformes fecales. Los resultados indicaron que solo 1 de los 17 puntos de muestreo (5,9%) superó el límite permitido de turbidez de 5 NTU según la normativa peruana. Todos los demás parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los límites establecidos. En cuanto a los parámetros microbiológicos, 4 de los 17 puntos de monitoreo (23,5%) excedieron los límites establecidos para *Escherichia coli* y coliformes termotolerantes y fecales. Se observó, además, una correlación entre estos tres parámetros microbiológicos.

Estos hallazgos destacan la necesidad de mejorar la gestión y supervisión del agua en estas comunidades para garantizar su seguridad y salubridad.

**Mejía & Taipe (2021)** El objetivo de esta investigación fue evaluar la "Influencia de la calidad microbiológica del agua de consumo humano en las enfermedades infecciosas gastrointestinales en el CC. PP Matahuasi, distrito de Vilca, provincia de Huancavelica, 2021". Para ello, se determinaron los "parámetros microbiológicos" (coliformes fecales/totales) del agua en dos puntos de captación: el Manantial Huarichaca y la red domiciliaria del CC. PP Matahuasi. Se tomaron tres muestras siguiendo los protocolos de monitoreo y seguridad, que luego fueron enviadas y analizadas por los laboratorios

"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C." y "Servicio Analíticos Generales S.A.C" (SAG Laboratorio). Los resultados se compararon con el "D.S. N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano".

Además, se obtuvieron los registros de morbilidad del CC. PP Matahuasi para evaluar el estado de salud de sus habitantes, específicamente en relación con las "Enfermedades Infecciosas Gastrointestinales". Para analizar los resultados, se realizó una contrastación de hipótesis utilizando la prueba T de muestras emparejadas entre los coliformes totales y la morbilidad por infecciones gastrointestinales, empleando el programa SPSS. Se observó que el valor P-valor (0.001) es menor que la significancia  $\alpha=0.05$ , lo que llevó a rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Se concluyó estadísticamente que el agua consumida por el CC. PP Matahuasi, proveniente de las dos fuentes, influye en las enfermedades infecciosas gastrointestinales de la comunidad. Los niveles de coliformes fecales y totales superan los límites máximos permisibles establecidos por el "D.S. N° 031-2010-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano".

### **2.1.3. Nivel Local**

Ruiz Alania (2022), tesis de pregrado - Análisis fisicoquímico y microbiológico de la calidad del agua para consumo humano del Centro Poblado de Buena Vista, Distrito De Pozuzo, Provincia De Oxapampa - Perú, 2021; la investigación se llevó a cabo en el Centro Poblado de Buena Vista, ubicado en el distrito de Pozuzo, provincia de Oxapampa, con el objetivo de evaluar la calidad del agua destinada al consumo humano mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos. El estudio se basó en los criterios establecidos por el Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA) y los Estándares de Calidad Ambiental (DS N° 004-2017-MINAM, Categoría 1:

Poblacional y Recreacional, Subcategoría A: Aguas Superficiales para producción de agua potable).

La muestra de agua fue tomada del reservorio ubicado en las coordenadas UTM Este 0426338 Norte 8886267 a una altitud de 1542 msnm, siguiendo la Resolución Directorial N° 160-2015/DIGESA/SA. Los análisis incluyeron parámetros de campo y fisicoquímicos (temperatura, turbiedad, pH, dureza, conductividad, color y sólidos disueltos totales), así como parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli*). La recolección de datos se realizó mediante el uso de un equipo multiparámetro en campo y las muestras fueron enviadas a un laboratorio para su análisis detallado.

Los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos fueron: turbiedad < 0.40 NTU, temperatura  $\Delta$  2 °C, dureza 23.07 mg/L, color < 5 unidades, sólidos disueltos totales 60.5 mg/L, pH 7.28 y conductividad 69.2  $\mu$ S/cm. En cuanto a los parámetros microbiológicos, se encontraron coliformes totales < 1.1 NMP/100 mL, coliformes fecales < 1.1 NMP/100 mL y *Escherichia coli* < 1 NMP/100 mL.

Estos resultados indican que la calidad del agua consumida en el Centro Poblado de Buena Vista es adecuada para el consumo humano, ya que todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos cumplen con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el DS N° 031-2010-SA y con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua según el DS N° 004-2017-MINAM.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **➤ Importancia del agua y su papel en la Tierra**

El agua es esencial para la vida de todos los organismos que la habitan. Este recurso vital asegura el funcionamiento adecuado de los procesos biológicos en los ecosistemas y es fundamental para la supervivencia de las especies animales y vegetales. El agua no solo satisface la necesidad de

hidratación, sino que también regula los ecosistemas terrestres, manteniendo el equilibrio necesario para la vida. Entre sus funciones más destacadas se encuentra su papel como regulador natural del clima. Sin agua, esta estabilidad ambiental se vería gravemente comprometida.

El agua es fundamental para la vida humana, dado que representa cerca de dos tercios de nuestro cuerpo. Está presente en los tejidos y órganos vitales y es esencial para los procesos corporales básicos. Sin agua, la supervivencia más allá de tres o cuatro días sería imposible.

El agua juega un papel crucial en diversos procesos orgánicos, como la digestión, la absorción y la eliminación de desechos. Además, forma parte del sistema circulatorio y distribuye nutrientes a través de la sangre. Entre los beneficios más destacados del agua están: mantener la temperatura corporal al eliminar el exceso de calor a través de la transpiración y el vapor, aliviar la fatiga, prevenir dolores de cabeza y reducir el riesgo de problemas cardíacos.

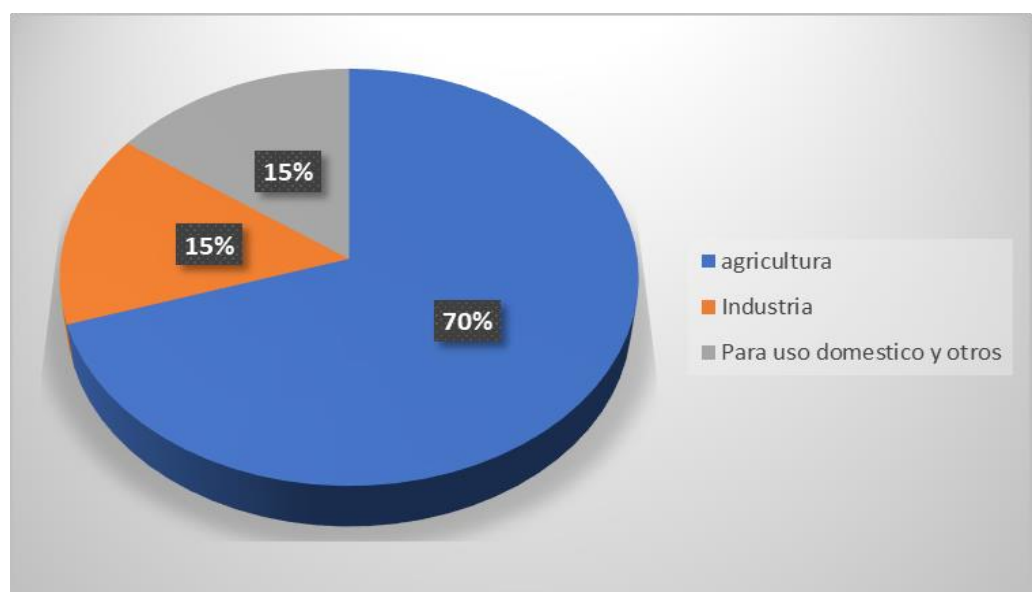
**Figura 1** *La importancia del agua en los ecosistemas*



También el agua, es considerado como el recurso más valioso y el más disputado. La sequía se ha convertido en un problema cada vez más extremo en muchas partes del mundo, y se prevé que el 60% de las grandes ciudades del mundo se quedarán sin agua en la próxima década. En los países industrializados, el consumo de agua per cápita sigue aumentando de forma imparable, a pesar de los denodados esfuerzos de los ecologistas y los gestores de recursos por fomentar la conservación. Los conflictos por el agua y la degradación del medio ambiente debida a la sobreexplotación de los recursos se intensifican. El agua no es sólo un recurso físico: en todos los contextos culturales está densamente codificada con significados sociales, espirituales, políticos y medioambientales, y éstos tienen un poderoso efecto en las pautas de uso del agua y en las relaciones entre usuarios y proveedores (Strang, 2020).

La importancia del agua también se refleja en las actividades humanas. En la actualidad, el 70% del agua se utiliza en la agricultura, el 15% en la industria y el otro 15% para uso doméstico.

**Figura 2** *Uso del Agua por diferentes actividades*



➤ **El Ciclo del Agua y su Impacto en los Ecosistemas**

El ciclo hidrológico es vital para los ecosistemas y la regulación del clima.

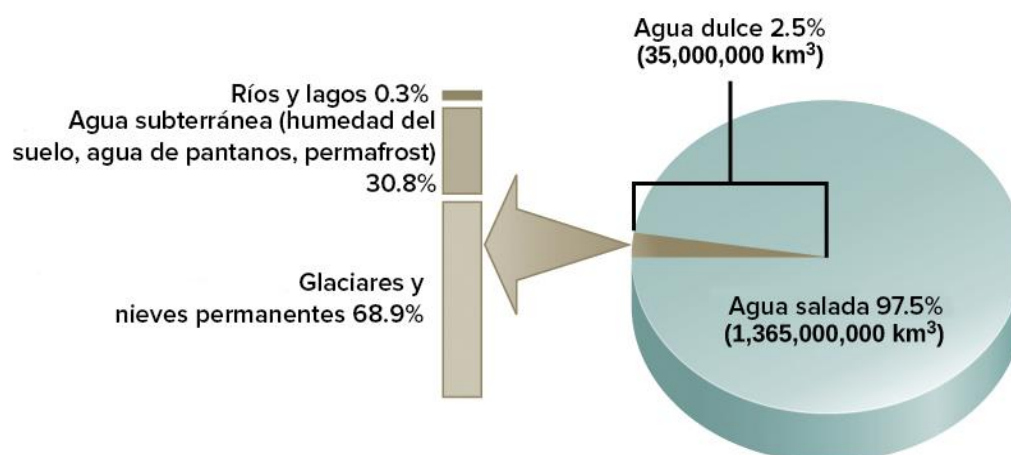
El agua circula continuamente entre sus tres estados (líquido, sólido y vapor) y está presente tanto en la superficie terrestre como bajo ella.

Alteraciones en este ciclo, como las provocadas por el cambio climático, pueden modificar significativamente los ecosistemas del planeta.

Aunque la cantidad total de agua en la Tierra permanece relativamente constante, su disponibilidad no lo es. Esto subraya la necesidad de una gestión adecuada y sostenible del agua para evitar el agotamiento del recurso y el estrés hídrico.

**Figura 3** *Distribución del agua en el planeta tierra*

(<https://openstax.org/books/concepts-biology/pages/20-2-biogeochemical-cycles>)



El ciclo del agua, impulsado por la energía solar, implica varios procesos clave:

- A.** Evaporación y sublimación: Paso del agua de líquido a vapor (evaporación) o de hielo a vapor (sublimación).
- B.** Condensación y precipitación: La formación de nubes a partir del vapor de agua y el posterior retorno del agua a la Tierra en forma de lluvia o nieve.

- C. Flujo de agua subterránea: Movimiento del agua a través de las capas de suelo y roca.
- D. Escorrentía superficial y deshielo: Flujo de agua procedente de la lluvia o del deshielo sobre la superficie.
- E. Caudal: El movimiento del agua a través de arroyos y ríos hacia masas de agua mayores.

El calor del Sol impulsa la evaporación del agua de los océanos y otras superficies, haciendo que se eleve en forma de vapor de agua. Este vapor se condensa en las nubes y acaba cayendo a la Tierra en forma de precipitaciones. Al llegar a la superficie, el agua puede evaporarse de nuevo, fluir sobre la tierra o filtrarse en el suelo. La escorrentía superficial, que resulta de la lluvia o de la nieve derretida, suele viajar a través de arroyos y lagos hasta llegar a los océanos.

En entornos naturales, la lluvia suele interactuar con la vegetación antes de llegar al suelo. Las plantas absorben una parte significativa de esta agua, y el agua restante se desplaza hacia el suelo. Si el suelo se satura debido a las fuertes precipitaciones, se produce la escorrentía superficial. La mayor parte del agua del suelo es absorbida por las raíces de las plantas, utilizada para su metabolismo y devuelta a la atmósfera a través de la evapotranspiración. El agua que no se absorbe o evapora puede infiltrarse en las capas más profundas del suelo y en el lecho rocoso, formando aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas constituyen una reserva crucial de agua dulce, que existe en los espacios entre las partículas de arena y grava o dentro de las fisuras de las rocas. Las aguas subterráneas poco profundas fluyen lentamente y acaban contribuyendo a las masas de agua superficiales. Los arroyos se mantienen gracias a una afluencia constante de aguas subterráneas, no sólo por las precipitaciones directas. Las aguas



subterráneas profundas pueden permanecer atrapadas en el lecho rocoso durante largos periodos. Los acuíferos, que suministran agua a través de pozos para beber y regar, suelen agotarse más rápido de lo que se reponen. La lluvia y la escorrentía superficial también desempeñan un papel vital en el ciclo de minerales como el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el azufre desde la tierra a los sistemas acuáticos (cott, Morford, & Randy, 2011).

- **La relevancia del agua para las plantas**

Las plantas, que constituyen nuestro entorno natural, están compuestas en un 70-90% de agua. Absorben principalmente el agua de la lluvia, aunque también puede ser a través del riego. La mayor parte del agua absorbida se pierde por transpiración, utilizando solo alrededor del 1% en sus procesos bioquímicos. Sin agua, el mundo vegetal estaría en grave peligro, y el planeta enfrentaría sequías severas.

El agua actúa como disolvente universal, transportando nutrientes minerales del suelo a las plantas y facilitando la fotosíntesis, esencial para la vida.

➤ **Los desafíos del Cambio Climático en el Sector Hídrico**

El agua es crucial para mantener la biodiversidad; su escasez implica la pérdida de especies y ecosistemas. Además, el agua es clave en la lucha contra el cambio climático: el calentamiento global provoca sequías, lluvias torrenciales e inundaciones, que resultan en migraciones, cambios en los ecosistemas y la desaparición de fauna y flora.

El aumento de las temperaturas provoca el deshielo de glaciares, elevando el nivel del mar. También calienta y acidifica los océanos, afectando su capacidad para absorber CO<sub>2</sub> y dañando las especies marinas.

Una gestión adecuada y un uso responsable del agua son esenciales para mitigar los efectos del cambio climático y proteger este recurso vital.

➤ **La realidad del agua en la actualidad**

A nivel global, muchas regiones carecen de agua potable y servicios de saneamiento adecuados. El 19 de noviembre, en el Día Mundial del Saneamiento, se enfatizó la importancia de este problema, dado que 4.200 millones de personas carecen de servicios de saneamiento gestionados de manera segura.

En 2015, el 71% de la población mundial contaba con acceso a agua potable segura, pero esto excluye a casi un tercio de la población global. Además, 844 millones de personas no tienen acceso a un servicio básico de agua potable. El agua contaminada puede causar enfermedades como diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis, y resulta en más de 502.000 muertes al año por diarrea en áreas afectadas por la contaminación del agua potable.

Para 2025, se espera que los problemas relacionados con el agua se vean agravados por la crisis climática, con más de la mitad de la población mundial viviendo en zonas de escasez de agua. La lluvia, nuestra principal fuente de agua, sigue un ciclo que implica evaporación, precipitación y distribución a través de ríos, lagos y humedales. Sin embargo, las precipitaciones varían considerablemente, lo que provoca problemas de escasez en nuestras regiones, donde gran parte del territorio es árido.

La escasez de agua es una realidad en muchas partes del mundo y podría empeorar en el futuro cercano. Debemos reconocer la importancia del agua en nuestras vidas y tomar medidas para preservarla. La falta de agua puede desencadenar problemas de salud, así como conflictos diplomáticos y migratorios en un mundo ya complejo.

A pesar de que el agua cubre gran parte de la Tierra, solo el 2,53% es agua dulce, y de esta, dos tercios están congelados en glaciares o regiones de nieve perpetua, limitando su disponibilidad (Fundación Aquae, 2021).

➤ **La evolución del abastecimiento de agua**

El abastecimiento de agua a lo largo de los milenios desde los albores de la humanidad en la Tierra, la suficiencia del agua disponible ha sido de suma importancia para la supervivencia y la prosperidad. Garantizar un suministro adecuado de agua a la población actual, en constante crecimiento y desarrollo. La escasez de agua se ha convertido en una gran preocupación, y una parte significativa del país, se enfrenta a la escasez de agua. El rápido crecimiento de la población y los cambios demográficos resultantes han surgido como los mayores problemas relacionados con los recursos hídricos. Ciudades de todo el mundo están experimentando escasez y falta de agua, junto con problemas de calidad del agua. Se prevé que esta situación empeore debido al crecimiento demográfico y a la migración a las zonas urbanas, sobre todo en los países en desarrollo. Los efectos de la variabilidad climática agravan aún más el problema, sobre todo cuando las prácticas de gestión del agua son deficientes. Incluso las zonas con abundancia de agua están reconociendo que el suministro de agua es un recurso natural superior a todos los demás.

Existen numerosos problemas sin resolver relacionados con los principios de gestión del agua, como la descentralización de los procesos, la rentabilidad, la durabilidad de los proyectos hídricos y las cuestiones de sostenibilidad. En las regiones en desarrollo, estos problemas se han intensificado hasta un grado sin precedentes. Además, han surgido nuevos problemas, como la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La intensificación de los problemas sin resolver ha llevado a las sociedades a revisar el pasado y reexaminar los logros históricos. Quienes han emprendido este estudio retrospectivo, basado en pruebas arqueológicas, históricas y técnicas, han quedado impresionados por dos

cosas: la similitud de los principios con los del presente y el nivel avanzado de las antiguas prácticas de ingeniería y gestión del agua.

Los avances tecnológicos relacionados con el agua durante el siglo XX crearon un desdén por los logros del pasado. Muchos han considerado que los logros del pasado no ofrecen soluciones para el presente y el futuro. Las antiguas tecnologías del agua se consideraban a menudo inferiores a las modernas. Sin embargo, muchas de estas tecnologías desarrolladas en la antigüedad podrían ser soluciones para muchas partes del mundo actual. Las tecnologías desarrolladas durante la Edad de Bronce, en particular, podrían tenerse en cuenta en los planes de desarrollo y gestión contemporáneos.

Muchos de los principios tecnológicos del agua que utilizamos hoy en día tienen sus fundamentos en logros alcanzados hace tres o cuatro mil años. Estos logros incluyen tecnologías como presas, pozos, cisternas, acueductos, baños, estructuras recreativas e incluso la reutilización del agua. Estas obras hidráulicas reflejan conocimientos técnicos y científicos avanzados, que permitieron la construcción de túneles desde dos aperturas y el transporte de agua tanto por canales abiertos como por conductos cerrados bajo presión. Sin duda, estos desarrollos tecnológicos fueron impulsados por la necesidad de utilizar eficientemente los recursos naturales para hacer las civilizaciones más resistentes a los elementos naturales destructivos y mejorar los estándares de vida. En cuanto a esto último, ciertas civilizaciones desarrollaron un estilo de vida avanzado, cómodo e higiénico, como lo demuestran los baños públicos y privados y los inodoros con descarga, que sólo pueden compararse con nuestras instalaciones modernas reestablecidas en Europa y América del Norte a

principios del siglo pasado (Angelakis, Mays, Koutsoyiannis, & Mamassis, 2029).

El ser humano ha desarrollado tecnologías para mejorar la disponibilidad de agua, como la perforación de pozos para obtener agua subterránea, el almacenamiento de agua de lluvia y la desalinización del agua de mar. A pesar de estos avances, la disponibilidad de agua dulce sigue siendo un problema acuciante.

➤ **La huella hídrica: La relación entre el consumo humano y el uso del agua**

Cada vez se reconoce más que la escasez de agua dulce y la contaminación deben entenderse en un contexto global. El agotamiento y la contaminación del agua a nivel local suelen estar estrechamente ligados a la estructura de la economía mundial. Con el aumento del comercio entre naciones y continentes, el agua se utiliza con más frecuencia para producir bienes de exportación. El comercio internacional de mercancías implica transferencias a larga distancia de agua en forma virtual, entendiendo por agua virtual el volumen de agua que se ha utilizado para producir una mercancía y que, por tanto, está virtualmente incorporada a ella. El conocimiento de los flujos de agua virtual que entran y salen de un país puede arrojar una luz completamente nueva sobre la escasez real de agua de un país. Al mismo tiempo, cada vez es más pertinente considerar los vínculos entre los bienes de consumo y los impactos en los sistemas de agua dulce. Esto puede mejorar nuestra comprensión de los procesos que impulsan los cambios impuestos a los sistemas de agua dulce y ayudar a desarrollar políticas de gobernanza inteligente del agua. La huella hídrica es un concepto innovador para analizar el consumo de agua y la contaminación a lo largo de las

cadenas de suministro, evaluar la sostenibilidad del uso del agua y explorar dónde y cómo puede reducirse mejor su consumo (Hoekstra, 2015).

Conocer nuestra huella hídrica es crucial para comprender cuánto agua consumimos más allá del uso diario. La Fundación Aquae ofrece una calculadora de huella hídrica para ayudar a tomar conciencia sobre nuestro consumo de este recurso valioso y promover su protección.

**Figura 4** Consumo del agua en diferentes actividades humanas



➤ **El agua de consumo humano en la zona urbana y rural de Perú**

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y su informe técnico “Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico”, basado en la Encuesta Nacional de Programas Presupuestales (ENAPRES) y la Encuesta Nacional de Hogares (ENAH0), durante el período de noviembre de 2018 a octubre de 2019, el 90,7% de la población en Perú tiene acceso al agua a través de la red pública.

El informe revela que, en el año de referencia, el 94,9% de los habitantes en áreas urbanas tienen acceso a este servicio, mientras que en áreas

rurales, solo el 24,7% de la población dispone de agua de red pública, lo que indica una significativa brecha de cobertura en las zonas rurales.

En cuanto a la calidad del agua, el informe señala que el 39,0% de las personas que consumen agua de red pública tienen un nivel adecuado de cloro residual, es decir, una concentración de cloro igual o superior a 0,5 mg/L. Sin embargo, en las áreas urbanas, el 49,3% de los consumidores de agua de red pública tienen niveles adecuados de cloro, mientras que, en las zonas rurales, solo el 3,2% de la población tiene agua con niveles de cloro adecuados, lo que deja una brecha de calidad del 96,8% en el ámbito rural.

Respecto al modelo de gestión del servicio de agua potable y alcantarillado, en las zonas urbanas, el 82% de la población está atendida por Empresas Prestadoras de Saneamiento (EPS), mientras que el 18% es gestionado por empresas municipales (EM). En contraste, en las áreas rurales, el 100% de la población que tiene acceso a servicios de agua potable está gestionado por municipios y Organizaciones Comunitarias de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS), también conocidas como Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS).

El documento “Agua y saneamiento: Radiografía de un sector prioritario en el Perú” identifica cinco factores que dificultan el cierre de las brechas en cobertura y calidad del agua y saneamiento: (i) deficiencias en el modelo de gestión urbano y rural, (ii) inadecuada institucionalidad sectorial, (iii) insuficiente inversión para mejorar cobertura y calidad, (iv) falta de apoyo estatal, y (v) exceso de normativa que obstaculiza la inversión. Estos problemas tienen un impacto negativo significativo en la calidad del agua potable y el saneamiento en las áreas rurales.

Las deficiencias en los servicios de saneamiento rural, como la falta de cobertura y la baja calidad del agua potable, resultan en riesgos para la salud y contaminación ambiental debido a la disposición inadecuada de

excretas. La alta diferencia en brechas de cobertura y calidad (24,7% y 96,8%, respectivamente) está vinculada a la baja sostenibilidad de los sistemas de agua y saneamiento, con problemas como mala gestión financiera, limitada capacidad técnica, deficiente mantenimiento de infraestructura y escasa valoración del servicio por la comunidad.

En Perú, los servicios de saneamiento no siempre cumplen con las condiciones adecuadas de equidad, calidad, oportunidad y continuidad. Las estadísticas promedio ocultan las grandes diferencias entre áreas rurales y urbanas y demuestran la falta de infraestructura necesaria para un servicio óptimo. La deficiente calidad de los servicios de saneamiento y la inadecuada disposición de excretas afectan la salud pública, con enfermedades transmitidas por agua de mala calidad y la falta de lavado adecuado de manos, así como enfermedades diarreicas agudas, especialmente en la niñez.

El acceso limitado a agua segura y sistemas de desagüe contribuye a enfermedades diarreicas agudas, afectando negativamente la nutrición y el desarrollo infantil. Mejorar la cobertura y calidad de los servicios de saneamiento es crucial para reducir las enfermedades transmitidas por el agua y mejorar la calidad de vida de la población.

En la actualidad existe una brecha en cuanto a la calidad del agua de consumo humano en áreas rurales es alarmante, con un 96,8% de los habitantes expuestos a niveles insuficientes de cloro, lo que afecta gravemente la salud, especialmente en los niños, y contribuye a problemas como la desnutrición crónica y anemia.

➤ **Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SAA**

En el Artículo 7°: Gestión de la calidad del agua de consumo humano, incluye las siguientes acciones principales:



**A. Vigilancia sanitaria**

Monitoreo continuo del agua destinada al consumo humano para asegurar que cumpla con los estándares de calidad establecidos.

**B. Vigilancia epidemiológica**

Seguimiento de enfermedades relacionadas con el consumo de agua para identificar y controlar brotes y prevenir su propagación.

**C. Control y supervisión**

Evaluación y monitoreo de la calidad del agua para garantizar que los estándares y regulaciones se mantengan adecuadamente.

**D. Fiscalización sanitaria**

Inspección y regulación del suministro de agua para verificar el cumplimiento de las normativas sanitarias y de calidad.

**E. Autorización y registros**

Aprobación y registro de los sistemas de abastecimiento de agua, asegurando que cumplan con las normativas sanitarias requeridas.

**F. Promoción y educación**

Fomento de buenas prácticas y sensibilización sobre la calidad y el uso adecuado del agua para el consumo humano.

**G. Otras acciones**

Cualquier otra medida que establezca la Autoridad de Salud a nivel nacional para garantizar la calidad del agua para consumo humano.

➤ **Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del estudio**

**A. Sólidos**

La medida de sólidos disueltos totales (TDS, por sus siglas en inglés) indica la cantidad de material disuelto en el agua, que puede incluir carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, fosfato, nitrato, calcio, magnesio, sodio, iones orgánicos y otros. Una cierta cantidad de estos iones es esencial para la vida acuática. No obstante, variaciones

significativas en las concentraciones de TDS pueden ser perjudiciales, ya que la densidad del agua afecta el flujo de agua hacia y desde las células de los organismos. Concentraciones demasiado altas o bajas de TDS pueden limitar el crecimiento de la vida acuática y causar mortalidad.

**Figura 5** *Tratamiento primario para los sedimentos*



El tratamiento para eliminar los TDS se realiza mediante un proceso de sedimentación simple, que puede ser asistida por sustancias químicas. El agua se deposita en estanques decantadores durante 1 a 2 horas. Se añaden compuestos químicos como aluminio, polielectrolitos floculantes y sales de hierro para completar el proceso, logrando también la precipitación del fósforo y de los sólidos en estado coloidal en un 70% o en suspensión muy fina. Este proceso, que emplea maquinaria hidráulica, se conoce como tratamiento mecánico.

### **A.1. Sólidos disueltos totales (SDT)**

Para determinar los sólidos disueltos totales (SDT) en una muestra de agua, se toma un volumen específico de la muestra y se somete a un proceso de evaporación a una temperatura superior a 100 °C. La cantidad de sólidos que queda después de la evaporación se pesa y, a partir de este peso, se calcula la concentración de SDT presentes en la muestra. Este método se conoce como gravimetría (OMS, 2006). En el agua destinada al consumo humano, la mayor parte de la materia orgánica se encuentra en forma de sólidos disueltos, que consisten en sales y gases disueltos. Los iones predominantes son bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Estas sustancias afectan otras características del agua, como el sabor, la dureza y la tendencia a la incrustación (APHA, WPCF, & AWWA, 1995).

### **B. pH**

El potencial de hidrógeno (pH) en el agua mide su acidez o alcalinidad. Un pH por debajo de 7.0 indica acidez, mientras que un pH superior a 7.0 señala alcalinidad. La mayoría de las aguas naturales presentan un pH entre 6 y 9, aunque muchas tienden a ser ligeramente básicas debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Conocer el pH del agua es fundamental para evaluar su tendencia a ser corrosiva o propensa a formar incrustaciones (Petro Niebles & Wees Martínez, 2014).

### **C. Turbiedad**

La turbiedad mide la transmitancia de luz en el agua y es un indicador de la calidad del agua en relación a la materia suspendida coloidal y residual. No existe una relación directa entre la turbiedad y la concentración de sólidos suspendidos, y los valores pueden variar

según la fuente de luz y el método de medición, así como las propiedades de absorción del material suspendido. En Colombia, se utiliza comúnmente el método nefelométrico-2130 para medir la turbiedad, permitiendo comparaciones entre diferentes referencias siempre que se aplique rigurosamente (Trujillo et al., 2014).

La turbiedad es un criterio de calidad de agua ampliamente utilizado en fuentes de abastecimiento, procesos de potabilización y sistemas de distribución, debido a que es una medición rápida, económica y fácil de interpretar. Kawamura (2000) recomienda presedimentación para turbiedades superiores a 1000 UNT y establece 3000 UNT como el valor máximo para tratamiento convencional (Montoya et al., 2011).

#### **D. Conductividad**

La conductividad eléctrica mide la capacidad del agua para conducir electricidad. El agua pura tiene una conductividad casi nula; por lo tanto, cualquier conductividad medida es debida a las impurezas presentes. La herramienta utilizada para medir la conductividad es el conductímetro, que mide la resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos sumergidos en el agua y se calibra con una solución tampón de ClK a la misma temperatura.

El agua pura no es un buen conductor de electricidad, pero la presencia de sales disueltas aumenta su capacidad de conducción de manera proporcional a la cantidad de sales presentes. Este principio se emplea para medir la salinidad en términos de conductividad eléctrica, expresada en Siemens por metro (S.m-1) (García, 2012).

La conductividad es una forma eficaz de control de calidad del agua, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- No haya contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realicen a la misma temperatura.

- La composición del agua se mantenga relativamente constante (Ros Moreno, 2011).

#### **E. Cloro residual libre**

El cloro es un agente químico accesible y económico que, al disolverse en agua limpia en cantidades adecuadas, elimina la mayoría de los microorganismos patógenos sin representar un riesgo para la salud humana. Sin embargo, el cloro se va consumiendo conforme destruye estos organismos. Si se añade suficiente cloro, una pequeña cantidad residual permanecerá en el agua después de eliminar todos los microorganismos, lo cual se conoce como cloro libre. Este cloro libre persiste en el agua hasta que se dispersa en el ambiente o se utiliza para neutralizar una nueva contaminación (OMS, 2009).

El uso del cloro como desinfectante es una práctica común a nivel mundial para la potabilización del agua, debido a su bajo costo, facilidad de manejo y tiempo residual. No obstante, se ha demostrado que durante el proceso de desinfección se generan subproductos perjudiciales para la salud, como los trihalometanos, que se forman en reacciones secundarias con la materia orgánica y se han identificado como cancerígenos (Espinosa & González, 2009).

#### ➤ **Parámetros microbiológicos de la calidad del agua del estudio**

##### **A. Coliformes Totales**

Las bacterias coliformes son bacilos Gram negativos que pueden crecer en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos. Estas bacterias fermentan la lactosa produciendo ácido y gas en un periodo de 24 a 48 horas. Mayormente, pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, destacándose los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*. Según la taxonomía actual, el término "coliformes" abarca un grupo heterogéneo de bacterias que

pueden encontrarse tanto en las heces como en el medio ambiente (suelos, aguas ricas en nutrientes y materia vegetal en descomposición), exceptuando al género *Escherichia*, que reside exclusivamente en organismos humanos y de animales de sangre caliente (Roldán Estrada, 2006).

Las bacterias coliformes totales son una colección de microorganismos relativamente inofensivos que habitan en grandes cantidades en el intestino de humanos y animales de sangre caliente. Dentro de este grupo, los coliformes fecales constituyen un subgrupo específico, siendo *Escherichia coli* la más común. Este organismo se distingue del resto de los coliformes fecales por su capacidad para crecer a temperaturas elevadas y su asociación exclusiva con la materia fecal de animales de sangre caliente (Erdal, Erdal, & Randall, 2003).

Los coliformes fecales comparten características con los coliformes totales en cuanto a morfología, capacidad de fermentar lactosa y ser aerobios y anaerobios facultativos. No obstante, difieren en su capacidad para soportar altas temperaturas. A diferencia de los coliformes totales, los coliformes fecales pueden fermentar lactosa produciendo ácido y gas en un periodo de incubación de 24 a 48 horas a una temperatura de 44.5 °C en condiciones de laboratorio (Ramos Pérez, 2011).

#### **B. Coliformes fecales o termo tolerantes**

Las especies de coliformes fecales son un subgrupo de coliformes que se originan en las heces. Se identifican por su capacidad de fermentar la lactosa, produciendo ácido y gas a 44.5°C en un periodo de 24 horas, después de haber sido confirmadas como coliformes totales. La especie más representativa de este grupo es *Escherichia coli*.

Los coliformes termo tolerantes se encuentran en ambientes enriquecidos, como aguas residuales, y en materia vegetal y suelos en descomposición.

➤ **Procedimiento para la toma de muestras de agua consumo humano**

De acuerdo con el DS 160-2015-DIGESA, se implementa el “Protocolo de Procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano”. Este protocolo establece que la vigilancia de la calidad del agua incluye actividades como la caracterización de las fuentes de abastecimiento, la inspección del sistema de abastecimiento de agua, y el muestreo y análisis de los parámetros definidos en el Decreto Supremo 031-2010-SA, que regula la calidad del agua para consumo humano. Estos procedimientos estandarizados garantizan la representatividad y consistencia de las muestras (MINSA, 2015).

**A. Ubicación de los Puntos de Muestreo**

La selección y cantidad de puntos de muestreo se basan en la accesibilidad y los medios de transporte disponibles. La ubicación de los puntos de muestreo en el sistema de abastecimiento de agua para consumo humano se debe establecer de la siguiente manera:

**a.1. Puntos Fijos**

- En el punto de captación.
- A la salida del sistema de tratamiento.
- En la salida de los reservorios de almacenamiento.
- En las zonas intermedias y los extremos de la red de distribución.

**a.2. Puntos de Interés Colectivo**

- Al menos un punto de muestreo en cada entrada de agua en las redes sectorizadas.

- En sectores de alto riesgo por posible contaminación.
- Uniformemente distribuidos a lo largo del sistema.
- Después de la mezcla de aguas provenientes de diversas fuentes.
- En puntos de abastecimiento adicionales, como piletas públicas y surtidores de camiones cisterna.

### **a.3. Puntos de Muestreo Provisionales**

En situaciones de riesgo por eventos naturales o antrópicos que puedan afectar la calidad del agua.

En respuesta a quejas inusuales sobre la calidad del agua, daños en tuberías, o problemas de presión.

## **B. Toma de Muestras**

### **b.1. Consideraciones Generales**

La toma de muestras debe ser realizada por personal autorizado para asegurar la representatividad y la estabilidad de la composición del agua durante el muestreo y transporte.

Los puntos de muestreo deben ser identificados con coordenadas UTM mediante GPS para su registro.

### **b.2. Procedimientos Específicos**

- Captación: Limpiar cualquier residuo alrededor de la tapa en manantiales y estructuras similares.
- Reservorios y Cisternas: Limpiar la tapa y evitar la caída de residuos dentro del reservorio.
- Grifos o Caños: Elegir grifos conectados directamente con la distribución, limpiar el área, desinfectar con hipoclorito o alcohol, y permitir que el agua fluya antes de tomar la muestra.

### **b.3. Condiciones para Medición de Parámetros de Campo**

Utilizar guantes durante la toma de muestras.



Medir parámetros como cloro residual libre, turbiedad, conductividad, pH y temperatura.

Registrar toda la información en la ficha de datos del campo, asegurando legibilidad y precisión.

### **C. Frecuencia de Muestreo y Parámetros**

La frecuencia de muestreo debe ser suficiente para reflejar cambios significativos en la calidad del agua y debe ser razonable tanto técnica como económicamente.

### **D. Parámetros de Control Obligatorio (PCO):**

- Coliformes totales
- Coliformes termo tolerantes
- Turbiedad
- Cloro residual
- pH

Si el cloro residual es menor a 0.5 mg/l, se debe tomar una muestra adicional para analizar coliformes. En sistemas rurales, la determinación de color, turbiedad y cloro residual se realizará mensualmente.

## ➤ **Acondicionamiento, Preservación y Traslado de Muestras de Agua para Consumo**

### **A. Rotulado e Identificación de las Muestras de Agua**

Antes de la toma de muestra, los frascos deben ser etiquetados claramente con los siguientes datos, escritos con tinta indeleble y sin enmiendas, y la etiqueta debe ser protegida con cinta adhesiva transparente:

- Código de identificación de campo
- Coordenadas geográficas
- Localidad, distrito, provincia y región

- Punto de muestreo
- Matriz del agua
- Fecha y hora de la toma de muestra
- Tipo de análisis requerido
- Información sobre preservación, incluyendo el nombre del preservante
- Nombre del muestreador

#### **B. Acondicionamiento y Preservación de Muestras**

Las muestras deben cumplir con los requisitos específicos para cada parámetro analítico, incluyendo tiempo de vigencia y temperatura. Tras la toma de muestra, se debe añadir el reactivo de preservación si es necesario. Luego, se debe cerrar el frasco de manera hermética, sellar la tapa para evitar derrames y agitar para asegurar la homogeneidad de la muestra.

#### **C. Conservación y envío de muestras**

Las muestras deben ser conservadas en cajas térmicas (coolers) manteniéndolas a temperaturas inferiores a 2 °C. Los frascos de vidrio deben ser embalados con cuidado para evitar roturas, derrames y contaminación. Las muestras deben ser enviadas en cajas térmicas que estén protegidas de la luz solar y que permitan el uso de material refrigerante.

#### **D. Medio de Transporte**

El transporte de las muestras debe realizarse en cajas adecuadas (coolers) con refrigerantes, y lo más pronto posible. No se deben utilizar mochilas, maletines, cajas de cartón ni bolsas para el transporte. Al ingresar las muestras al laboratorio, deben entregarse debidamente rotuladas y acompañadas de una solicitud de ensayo completa.

➤ **Marco legal de la calidad del agua para el consumo humano.**

**A. Constitución Política del Perú (1993)**

Uno de los principios fundamentales establecidos en la legislación peruana es el siguiente:

Artículo 2.- Derechos Fundamentales de la Persona

Numeral 22. Toda persona tiene derecho a disfrutar de la paz, la tranquilidad, el tiempo libre y el descanso, así como a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida.

En relación con las funciones de los gobiernos locales:

Artículo 195.- Los gobiernos locales están encargados de promover el desarrollo y la economía local, y de proporcionar los servicios públicos que tienen bajo su responsabilidad, en consonancia con las políticas y planes nacionales y regionales de desarrollo.

Numeral 8. Es responsabilidad de los gobiernos locales desarrollar y regular actividades y/o servicios en áreas como educación, salud, vivienda, saneamiento, medio ambiente, sostenibilidad de recursos naturales, transporte colectivo, circulación y tránsito, turismo, conservación de monumentos arqueológicos e históricos, cultura, recreación y deporte, de acuerdo con la ley.

**B. Ley General del Ambiente - Ley N° 28611**

Artículo 1.- Objetivo

Esta Ley establece el marco normativo para la gestión ambiental en el Perú, definiendo los principios y normas esenciales para garantizar el derecho a un entorno saludable, equilibrado y propicio para el desarrollo pleno de la vida. También establece el deber de contribuir a una gestión ambiental eficaz y de proteger el medio ambiente y sus componentes, con el fin de mejorar la calidad de vida y promover el desarrollo sostenible del país.

## Artículo 2.- Ámbito de Aplicación

La Ley regula las acciones necesarias para la protección del medio ambiente en el contexto de todas las actividades humanas. Las actividades productivas y el uso de recursos naturales están regidos por leyes específicas, pero la presente Ley se aplica a las políticas, normas e instrumentos de gestión ambiental pertinentes. Para efectos de esta Ley, “ambiente” y “sus componentes” incluyen los elementos físicos, químicos y biológicos, tanto naturales como antropogénicos, que constituyen el medio donde se desarrolla la vida y aseguran la salud humana, la conservación de los recursos naturales, la biodiversidad y el patrimonio cultural relacionado.

## Artículo 32.- Límite Máximo Permisible (LMP)

El Límite Máximo Permisible (LMP) define la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en efluentes o emisiones que, al excederse, puede causar daño a la salud humana y al medio ambiente. Su cumplimiento es obligatorio y debe ser vigilado por la autoridad competente. Dependiendo del parámetro, el LMP puede expresarse en términos máximos, mínimos o en rangos.

El LMP debe estar en coherencia con el nivel de protección ambiental establecido para una fuente específica y los niveles generales de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). La implementación de estos límites debe garantizar que no se sobrepase la capacidad de carga de los ecosistemas, conforme a las normas aplicables.

## Artículo 66.- Salud Ambiental

La prevención de riesgos y daños a la salud humana es una prioridad en la gestión ambiental. El Estado, a través de la Autoridad de Salud y las personas naturales y jurídicas en el país, debe contribuir a una

gestión efectiva del medio ambiente y de los factores que representan riesgos para la salud.

La Política Nacional de Salud incluye la política de salud ambiental como una prioridad, con el objetivo de minimizar los riesgos ambientales derivados de las actividades y materiales en el ámbito de este sector.

### **C. Ley General de Salud (N° 26842)**

Artículo 103°

Este artículo establece que la protección del medio ambiente es una responsabilidad compartida entre el Estado y las personas naturales y jurídicas. Todos deben mantener el ambiente dentro de los estándares necesarios para garantizar la salud pública. La Autoridad de Salud competente tiene la responsabilidad de asegurar el cumplimiento de estas normas.

Artículo 107

Este artículo dispone que el abastecimiento de agua para consumo humano debe ajustarse a las normativas establecidas por la Autoridad de Salud competente. Esta entidad se encargará de supervisar y garantizar que se cumplan dichas disposiciones.

### **D. Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo: DS N° 031 – 2010 – SA / Ministerio de Salud**

Art. 19: Control de Calidad

El proveedor del sistema de abastecimiento de agua potable es responsable del control de calidad del agua destinada al consumo humano. Este proveedor debe cumplir con las disposiciones y requisitos sanitarios establecidos en el reglamento vigente mediante procedimientos específicos. Además, mediante prácticas de autocontrol, el proveedor debe identificar cualquier deficiencia y tomar

las medidas correctivas necesarias para garantizar que el agua suministrada sea segura para el consumo.

Art. 66: Parámetros de control obligatorio

Son parámetros de control obligatorio para todos los proveedores de agua, los siguientes:

1. Coliformes totales;
2. Coliformes termo tolerantes;
3. Color;
4. Turbiedad;
5. Residual de desinfectante; y
6. pH.

### **2.3. Definición de términos básicos**

Para la definir los términos se ha basado en la fuente de Mora Alvarado & Mata Solano (2003)

#### **Agua para consumo humano**

Se refiere a toda el agua que el ser humano utiliza en sus actividades diarias, como beber, preparar alimentos, higiene personal, lavar ropa, servicio sanitario y otras tareas. Esta agua puede o no cumplir con los valores recomendables o máximos admisibles en términos estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos establecidos por el Reglamento para la calidad del agua potable.

#### **Agua potable**

Es aquella que, al ser utilizada para el consumo humano, no representa un riesgo para la salud y cumple con los valores recomendados o máximos admisibles en aspectos estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos establecidos en el Reglamento para la calidad del agua potable.

### **Acceso a una fuente pública de agua cercana**

Se define como la disponibilidad promedio de 20 litros de agua por persona, proveniente de una fuente pública situada a una distancia máxima de un kilómetro de la vivienda del usuario.

### **Análisis puntual**

Evaluación de la calidad del agua en un momento específico. Este tipo de muestreo, utilizado para análisis microbiológicos y físico-químicos, se realiza en un punto temporal determinado y permite evaluar la calidad del agua en ese instante preciso, sin que los resultados puedan extrapolarse a otros momentos en el tiempo.

### **Aspectos físico-químicos**

El riesgo para la salud derivado de sustancias químicas tóxicas presentes en el agua es diferente al causado por contaminantes microbiológicos. Es poco probable que estas sustancias provoquen problemas agudos de salud, salvo en situaciones excepcionales, como una contaminación masiva del sistema de abastecimiento. Sin embargo, el agua puede volverse indeseable para el consumo por su sabor, olor y apariencia tras tales incidentes. Los problemas relacionados con componentes químicos suelen surgir debido a la exposición prolongada, siendo particularmente importantes los venenos acumulativos y los carcinógenos.

### **Calidad del agua para consumo humano**

Se refiere al porcentaje de la población o sistemas de abastecimiento que cumplen con los estándares establecidos para la calidad del agua potable y con los criterios mínimos para el tratamiento y protección de las fuentes de agua.

### **Cobertura**

Es el porcentaje de la población que cuenta con un sistema de abastecimiento de agua conocido, generalmente público.

### **Código de colores**

Es una herramienta utilizada para clasificar el riesgo microbiológico del agua destinada al consumo humano, utilizando colores para representar los porcentajes de ausencia y la densidad de coliformes fecales por cada 100 mL en un período específico.

### **Conexión domiciliaria de agua**

Se refiere al punto de abastecimiento de agua ubicado dentro de una vivienda, local comercial u otra propiedad privada, independientemente de la fuente o método de extracción utilizado.

### **Contaminación**

Es la introducción directa o indirecta de cualquier tipo de desecho peligroso en el medio ambiente, realizada por el hombre, que puede ser perjudicial para la salud o la vida vegetal y animal, dañar los recursos vivos o los ecosistemas, interferir con el disfrute de áreas recreativas o dificultar otros usos legítimos del medio ambiente. Esto incluye cualquier alteración indeseable del aire, agua o alimentos causada por sustancias tóxicas o que pueden tener efectos adversos en la salud, o que resulten molestas, aunque no necesariamente dañinas para la salud.

### **Continuidad**

Se refiere al porcentaje de tiempo durante el cual se dispone de agua, ya sea diariamente, semanalmente o estacionalmente.

### **Control de calidad del agua**

Es una actividad sistemática y continua que supervisa las diferentes fases de producción y distribución del agua para consumo humano, siguiendo normas y programas específicos que deben ser ejecutados por los organismos operadores.



### **Criterio**

Es un conjunto de datos sobre las relaciones entre la exposición y el efecto, utilizado como base para establecer normas, sobre las cuales se fundamentarán las decisiones y acciones administrativas. Designa la relación entre la exposición a un contaminante u otro factor y el riesgo o la magnitud de efectos indeseables en circunstancias específicas definidas por variables del ambiente y del “blanco”.

### **Cuenca**

Desde un punto de vista físico, una cuenca hidrográfica es un área en la cual las características de la superficie del terreno provocan que las aguas de precipitación drenen y se distribuyan hacia un punto común, que puede ser un lago, río u océano.

### **Desinfección**

Es el proceso de eliminación de agentes infecciosos presentes fuera del cuerpo mediante la exposición directa a agentes químicos o físicos. En los sistemas de agua, la desinfección actúa como una barrera contra las enfermedades de transmisión hídrica. El cloro es el desinfectante más utilizado en todo el mundo debido a sus varias ventajas: bajo costo, eficacia, facilidad de medición y capacidad de dejar un residuo desinfectante que ayuda a prevenir una nueva contaminación durante el almacenamiento y distribución.

### **Enfermedades relacionadas con el agua**

La transmisión de enfermedades a través del agua ocurre mediante cuatro mecanismos principales: por ingesta de agua, por contacto con el agua, relacionadas con la higiene y el agua, y transmitidas por vectores acuáticos.

### **Enfermedades microbiológicas**

Son enfermedades causadas por organismos patógenos presentes en el agua que, al ser ingeridos en dosis suficientes, infectan al consumidor. La mayoría de estos organismos llegan al agua mediante la contaminación con

excretas humanas y animales. Los agentes infecciosos pueden incluir bacterias, helmintos, protozoarios y virus.

### **Enfermedades adquiridas por ingesta de sustancias químicas**

Son enfermedades generalmente crónicas causadas por la ingestión de agua que contiene sustancias tóxicas. Estas sustancias suelen provenir de actividades humanas (pesticidas, industria, minería), aunque también pueden tener origen natural (arsénico, cadmio, flúor, etc.).

### **Enfermedades transmitidas por contacto con el agua**

Estas enfermedades se transmiten a través del contacto de la piel con agua contaminada por microorganismos patógenos. Se adquieren durante actividades como el baño, higiene personal, natación e inhalación de aerosoles de agua contaminada.

### **Enfermedades relacionadas con la higiene y el agua**

Son enfermedades cuya incidencia, prevalencia y gravedad pueden reducirse mediante el uso regular de agua en cantidad y calidad suficientes para mejorar la higiene personal y doméstica.

### **Enfermedades transmitidas por vectores acuáticos**

Estas enfermedades son causadas por organismos que, durante parte de su ciclo de vida, dependen de vectores animales que viven total o parcialmente en un hábitat acuático o en sus cercanías.

### **Evaluación**

Proceso para identificar una situación o realidad existente.

### **Evaluación anual de la calidad del agua**

Resultado obtenido del procesamiento de los análisis microbiológicos y físico-químicos del control de calidad realizados durante un año.

### **Evaluación de riesgo sanitario**

Valoración integral de las condiciones de calidad de un acueducto, utilizando como insumo los resultados de los análisis de laboratorio e

inspecciones sanitarias de los diferentes componentes del sistema (fuentes de abastecimiento, tratamiento, tanques de almacenamiento o distribución, red de distribución).

### **Fuentes de agua**

Recursos hídricos utilizados como fuentes de abastecimiento para los acueductos o sistemas de abastecimiento. Estas fuentes se clasifican en superficiales (ríos, quebradas, embalses, etc.) y subterráneas (pozos, manantiales).

### **Aguas superficiales**

Las aguas superficiales provienen de ríos, quebradas, lagos, embalses, canales de irrigación, entre otros. Este tipo de agua suele estar expuesto a la contaminación con relativa facilidad, por lo que es necesario tratarla y desinfectarla antes de distribuirla a los consumidores. Los sistemas de tratamiento más utilizados son la filtración lenta y la filtración rápida.

### **Tratamiento**

Es el conjunto de procesos a los que se somete el agua para alcanzar un objetivo sanitario.

## **2.4. Formulación de la Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Al evaluar la condición de la calidad del agua de consumo humano en los parámetros: fisicoquímico, inorgánicos y microbiológico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo, cumplen los límites establecidos en el DS N° 031-2010-SA

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

1. La calidad del agua de consumo, en los parámetros fisicoquímico cumplen con los límites establecidos en el DS N° 031-2010-SA, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo

2. La calidad del agua de consumo, en los parámetros inorgánicos cumplen con los límites establecidos en el DS N° 031-2010-SA, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo
3. La calidad del agua de consumo humano en la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo, en el parámetro microbiológico cumple con el reglamento del DS N° 031-2010-SA.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

Calidad del agua de consumo humano en los parámetros: fisicoquímico, inorgánicos y microbiológico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua, provincia de Ambo.

### **2.5.2. Variable dependiente**

Valor de los parámetros fisicoquímico, inorgánico y microbiológico establecidos en el DS N°031-2010-S

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 1 Operación de variables e indicadores**

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Calidad del agua de consumo humano en los parámetros: fisicoquímico, inorgánicos y microbiológico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua, provincia de Ambo</p>	<p>La calidad del agua para el consumo humano asegura el bienestar de la población</p>	<p>Límites Máximos Permisibles</p>	<p>Cumplimiento de los LMP</p>	<p>Aptos</p> <p>No Aptos</p>
<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Valor de los parámetros fisicoquímico, inorganico y microbiológico establecidos en el DS N°031-2010-SA</p>	<p>Los valores de los parámetros físico químicos y los parámetros microbiológicos representan el cumplimiento de los LMP del DS N° 031-2010-SA.</p>	<p>Parámetros físicos químicos y microbiológicos</p>	<p>Número de unidades de los parámetros físicos químicos y micro-biológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cloro residual libre</li> <li>- pH</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Turbiedad</li> <li>- Conductividad</li> <li>- solidos totales disueltos</li> <li>- Coliformes Totales</li> <li>- Coliformes Termo tolerantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mg L-1</li> <li>- Valor de pH</li> <li>- °C</li> <li>- UNT</li> <li>- µmho/cm</li> <li>- mgL-1</li> <li>- UFC/100 mL a</li> <li>- 44,5°C</li> <li>- UFC/100 mL a</li> <li>- 35°C</li> </ul>

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Se optó por un enfoque de investigación aplicada, dado que, de acuerdo con Hernández et al. (2014), este tipo de estudio se orienta a mejorar la comprensión y/o solucionar problemas específicos relacionados con un fenómeno o aspecto de la realidad dentro del campo de una disciplina científica. Su característica principal es que se enfoca en la utilización práctica de los conocimientos adquiridos.

#### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de esta investigación, según Barrios (2011), es de tipo descriptivo simple. Este enfoque se centra en la descripción detallada de fenómenos como situaciones, personas, eventos, comunidades o grupos que están siendo analizados. El objetivo principal es la recolección y el procesamiento de datos, siguiendo los procedimientos y análisis descritos por Barrios (2011).

#### **3.3. Métodos de investigación**

Experimental, debido a que se evaluó detalladamente y se analizó cada parámetro físicoquímico, inorgánico y microbiológico relacionado con la calidad del agua, conforme a lo estipulado en el DS N° 031-2010-SA.

En contraste, el método explicativo aborda un análisis integral de los mismos parámetros en las áreas rurales de los distritos de Ambo. Este enfoque permite realizar una evaluación global y comparar los resultados obtenidos con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el DS N° 031-2010-SA. La combinación de ambos métodos ofrece una visión completa y precisa de la calidad del agua en las zonas estudiadas.

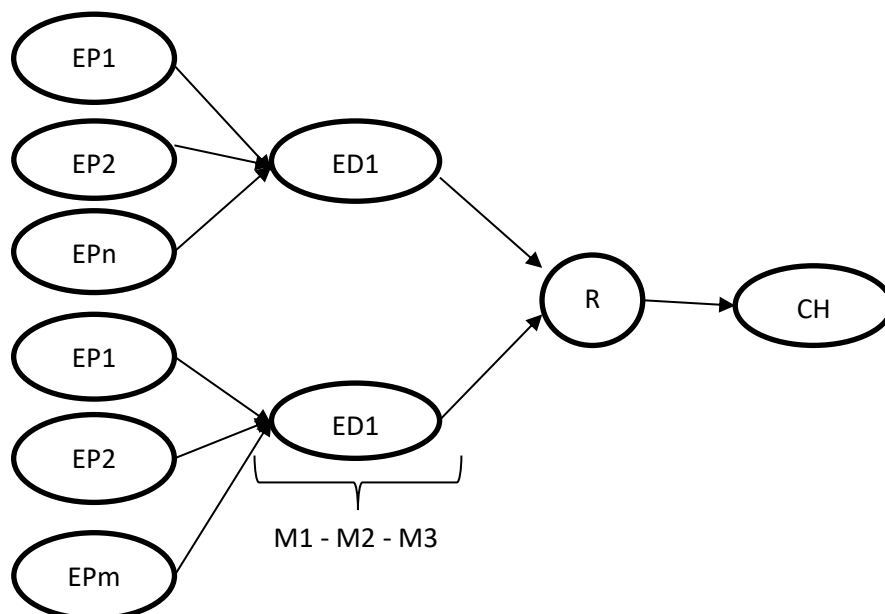
### 3.4. Diseño de la investigación

Diseño no experimental con el propósito de realizar un análisis exhaustivo de la calidad del agua. Este enfoque está orientado a ofrecer una descripción detallada de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos pertinentes. Mediante este diseño, se busca comparar y contrastar las características de la calidad del agua en las áreas de estudio.

El esquema de investigación proporciona una guía precisa sobre cómo se llevará a cabo la evaluación y comparación, estableciendo una estructura clara para recopilar información detallada acerca de la calidad del agua en las zonas seleccionadas.

**Figura 6** *Diseño de investigación*

Donde:



**EP1, EP2, EPn, EPm:** Verificar los parámetros fisicoquímicos y microbiológico de cada punto de muestreo.

**ED1 y ED2:** Estudio de los distritos.

**M1 - M2 – M3:** Momento de la observación por mes (enero, febrero y marzo)

**R:** Resultados

**CH:** Comprobación de Hipótesis

### **3.5. Población y muestra**

#### **Población**

La población de esta investigación abarca el agua destinada al consumo humano que proviene de los sistemas de abastecimiento (0,486 m<sup>3</sup>/s) gen el caserío Retamayoc, en el distrito de TomayKichua y la provincia de Ambo. El propósito es examinar y evaluar la calidad del agua en la comunidad rural. Este enfoque permitió obtener una perspectiva detallada sobre la calidad del agua.

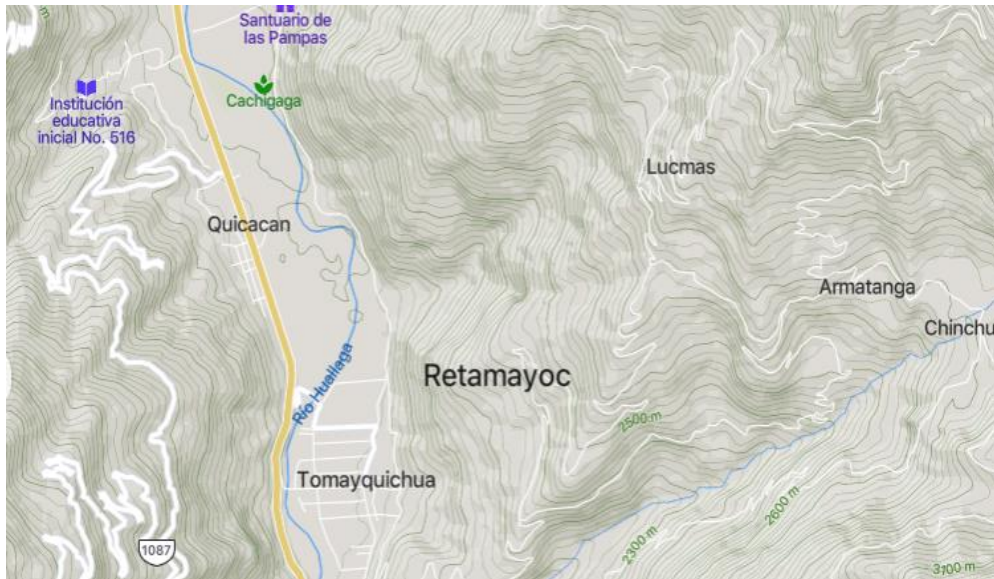
#### **Muestra de los sistemas de abastecimiento.**

Como muestra de la investigación representa cada muestra de agua para el consumo humano de los sistemas de abastecimiento de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y provincia de Ambo.

Para la recolección de muestras se planificaron un periodo de monitoreo, tomando tres (03) puntos de muestreo del sistema de agua destinado al consumo humano. El muestreo realizado fue no probabilístico y por conveniencia. Según Hernández et al. (2014), la selección de los puntos de muestreo no se basa en la probabilidad, sino en criterios relacionados con el objetivo del investigador. Las muestras fueron recolectadas deliberadamente en los siguientes puntos: captación, llegada al reservorio y primera casa, con el fin de que los casos sean representativos de la población en términos estadísticos.



**Figura 7** Zona rural Retamayoc



### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de los datos se utilizó las siguientes técnicas e instrumentos:

- **Muestreadores:** Personal de recolección de las muestras del campo, donde recogen las muestras de cada sistema de abastecimiento (al inicio del sistema, intermedio o/ intermedios del sistema y al final del sistema). Recolectando la muestra en el campo, se utilizó los equipos de medición para algunos parámetros. Para llevar al laboratorio las muestras se empleó cooler y recipientes de plástico esterilizados.
- **Cuadros de recolección de información:** Persisten la información del sistema de abastecimiento de la zona rural y demás características.
- **Internet:** Es utilizada de manera remota, como complemento de la información recopilada en campo.

### 3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

La información recogida a través del instrumento detallado en el Anexo 1, que clasifica los datos de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de

TomayKichua y provincia de Ambo, ha llevado a la adaptación del formato de vigilancia de la calidad del agua proporcionado por la Dirección Regional de Salud e Inocuidad. La validez de este enfoque está respaldada por la experiencia del asesor de la investigación, y su confiabilidad se basa en las técnicas de análisis y síntesis aplicadas a cada vivienda en las áreas rurales. Esto ofrece un marco de intervención sólido para quienes realizan el estudio sobre la calidad del agua.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

La información obtenida de los cuadros se procesó y se ingresó en una base de datos digital. Esta base de datos facilita la aplicación de análisis estadísticos, que comprenden técnicas de estadística descriptiva como tablas de frecuencias y gráficos. El propósito de estos análisis es realizar una evaluación detallada y extraer conclusiones significativas a partir de los datos recopilados. Finalmente, estos análisis sirven para validar la hipótesis propuesta en el contexto de la investigación.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

Los datos recopilados del monitoreo de parámetros de campo y los resultados microbiológicos del laboratorio se procesaron mediante programas de hojas de cálculo en una computadora. Se utilizó herramientas estadísticas como Excel y SPSS para llevar a cabo este procesamiento. Estos programas permiten organizar, analizar y presentar los datos de manera efectiva, facilitando la obtención de conclusiones relevantes y la realización de interpretaciones estadísticas precisas.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

La investigación se centra en el análisis del entorno natural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua y la provincia de Ambo, con el objetivo de evaluar la calidad del agua en esa área. Este estudio responde a la necesidad de conocer los valores de los parámetros obligatorios establecidos por el DS N°

031-2010-SA, proporcionando información relevante sobre la calidad del agua potable en la región analizada.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

Para el desarrollo de la investigación, se llevaron a cabo los siguientes trabajos en los puntos de muestreo:

##### **A. Ubicación de puntos de muestreo:**

###### **a. Captación**

El primer punto de muestreo se encuentra en el punto de captación del agua, es una fuente única de donde se alimenta a la planta de tratamiento (**m<sup>3</sup>/s**). Esto se aplica a la fuente superficial existente (Atencio, 2018).

**Figura 8** *Toma de muestra en E1. En el riachuelo*



**b. Ingreso a la planta de tratamiento**

Aquí se evalúa la calidad del agua en la línea de conducción hacia la planta de tratamiento, verificando posibles contaminaciones a través del canal construido (Aguilar & Navarro, 2018).

**Figura 9** *Toma de muestra en el tratamiento primario*

**c. Salida del sistema de tratamiento**



El muestreo se realiza en el punto de salida del agua tratada, después de que ha pasado por los procesos físicos y químicos necesarios para su potabilización. Se debe tomar del grifo de muestreo o cisterna de agua tratada (Atencio, 2018).

**Figura 10** Toma de muestra en el tanque de almacenamiento de agua potable



**d. Salida del reservorio**

Se tomó la muestra del grifo en la tubería de salida del reservorio. Si no hay grifo, se puede tomar de la salida del reservorio cercano en la vivienda más próxima (Atencio, 2018).

**Figura 11** *En la salida de la planta de tratamiento*



**e. Áreas extremas de la red de distribución**

El muestreo se realizó en el punto más lejano de la red, considerando el recorrido más largo y el punto más bajo de la red de distribución (Atencio, 2018).

**Figura 12** *En la casa más alejada de la zona rural de Retamayoc*



## **B. Toma de muestras**

Realización de la toma: El muestreo fue realizado por el investigador capacitado para asegurar que las muestras sean representativas y que su composición no cambie durante el transporte (Atencio, 2018). Se utilizó un sistema de posicionamiento satelital (GPS) para registrar las coordenadas UTM de los puntos de muestreo.

Espacio en el envase: Se dejó un espacio de aproximadamente 2.5 cm en el envase para permitir la expansión, adición de preservantes y homogenización de la muestra (Atencio, 2018).

Captación: Se retiraron residuos y maleza alrededor del punto de captación y se sumergió el recipiente aproximadamente 30 cm para tomar la muestra.

Reservorio: Se limpió el área alrededor de la tapa del reservorio, se retiró la tapa con cuidado, se colocó el frasco en el reservorio evitando el contacto con las paredes, y se sumergió aproximadamente 30 cm (Atencio, 2018).

Grifos o caños: Se eligió un grifo conectado directamente a la red de distribución. Se desinfectó el grifo, se dejó fluir el agua durante unos minutos antes de tomar la muestra (Atencio, 2018).

## **C. Consideraciones en la toma de muestras**

Medición de parámetros de campo: Se evaluaron los parámetros de campo como: pH, Conductividad eléctrica, Temperatura, Turbiedad, Color, STD, Cu, Zn, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Cloruros, Bicarbonato y Dureza; y la información se registró en la ficha de datos de campo (Atencio, 2018).

Muestras microbiológicas: Se analizaron los Coliformes totales, Termotolerantes y E. Coli. Se tomaron muestras utilizando guantes, evitando el contacto con el interior del frasco o su tapón. El frasco se llenó dejando un pequeño espacio para facilitar el análisis (Atencio, 2018).



Registro de datos: Se registraron detalles del muestreo como el código del punto, origen de la fuente, descripción del punto, fecha y hora, coordenadas, condiciones climáticas y observaciones (Atencio, 2018).

Conservación y etiquetaje: Las muestras se etiquetaron con un rotulador resistente al agua, indicando la fecha, origen y fijador utilizado. Se conservaron en un lugar fresco y oscuro durante el transporte al laboratorio (Atencio, 2018).

**Figura 13** Muestras de agua para el laboratorio



#### **D. Procedimiento analítico**

Los análisis se realizaron en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de La Selva y el Ministerio de Salud de Huánuco, con infraestructura adecuada y equipos precisos para controlar la calidad del agua, asegurando la precisión en la detección de sustancias a las concentraciones típicas del agua de consumo humano (Atencio, 2018).

**Figura 14** Las muestras fueron analizadas en los laboratorios de análisis de suelos, agua y ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en el laboratorio referencial del Ministerio de Salud de Huánuco



**Figura 15** Realizando las mediciones de los parámetros físicoquímicos



**Figura 16** *Análisis de metales con el equipo de absorción atómica UNAS*



#### **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

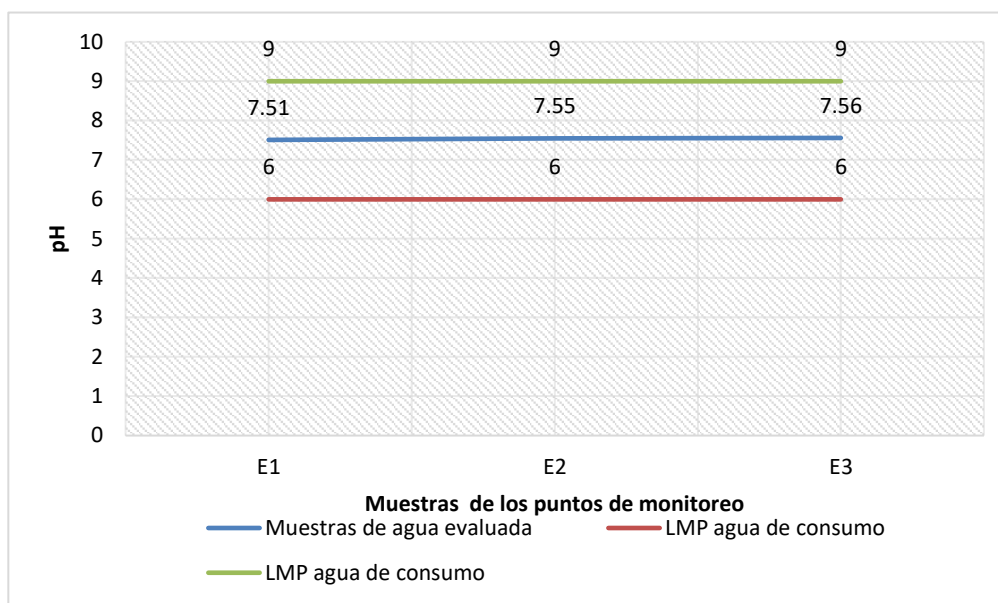
##### **Parámetros de calidad organoléptica**

##### **A. Potencial de Hidrogeno /pH)**

El pH, o Potencial de Hidrógeno, es una forma de medir cuán ácida o alcalina es el agua de consumo humano del caserío Retamayoc en el distrito de Tomay Kichwa. Esta medida se basa en la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) presentes en el agua.

La fórmula para calcular el pH es el logaritmo negativo en base 10 de la concentración de iones de hidrógeno en la solución. Matemáticamente, esto se expresa como  $pH = -\log[aH^+]$ . Se pudo evidenciar un rango de 7.51 a 7.56, la concentración de estos iones es ligeramente alcalino. y este parámetro está dentro de los establecido en cumplimiento de los LMP del DS N° 031-2010-SA.

**Figura 17** Resultados del potencial de hidrogeno (pH)

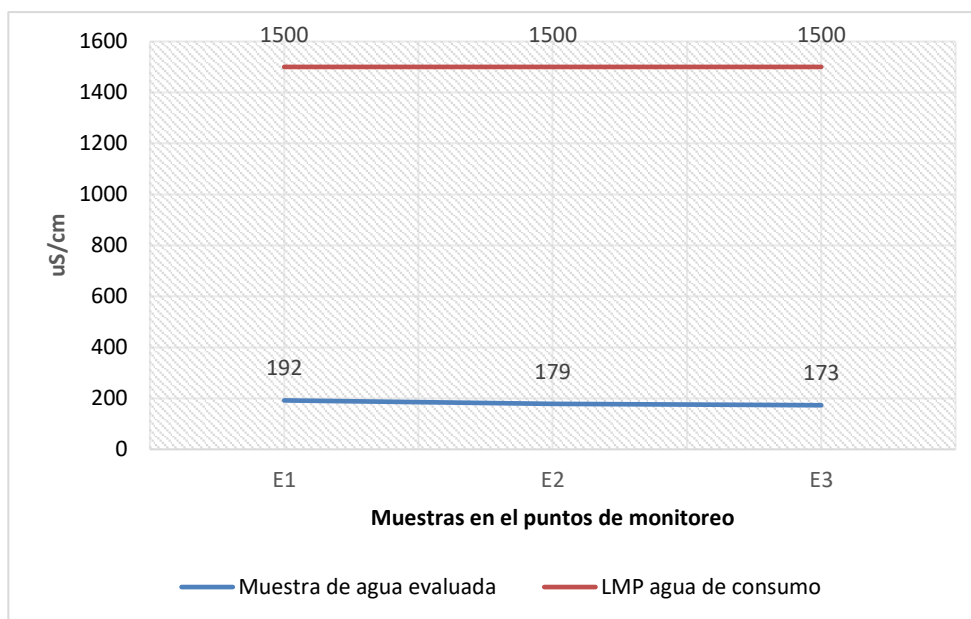


## B. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) en el agua es una medida de su capacidad para conducir electricidad. Esta capacidad depende de la cantidad de iones presentes, la carga de esos iones, y qué tan fácil pueden moverse.

En el agua la conductividad está influenciada por la temperatura. A medida que la temperatura aumenta, la viscosidad del agua disminuye, lo que permite que los iones se muevan más libremente. Esto indica que, a temperaturas más elevadas, el agua mejora su capacidad para conducir electricidad. Con respecto a los resultados de los monitoreos realizados se observó un rango de conductividad eléctrica entre 173 y 192  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo que indica que está dentro de los límites permitidos por la normativa establecida en el DS N° 031-2010-SA.

**Figura 18** Resultados de la conductividad eléctrica



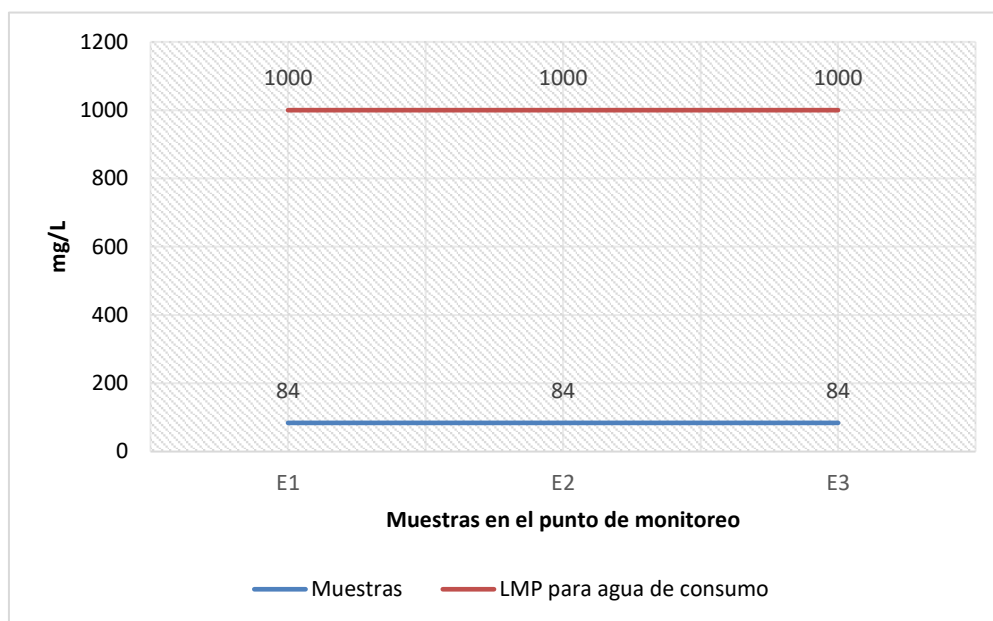
### C. Sólidos Totales Disueltos

Los sólidos disueltos, que tienen un tamaño menor a 2 micras, se refieren a cualquier mineral, sal, o metal que se encuentra disuelto en el agua en forma de moléculas, átomos, cationes (iones con carga positiva) o aniones (iones con carga negativa). Los sólidos totales disueltos (TDS) incluyen sales inorgánicas como calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, así como pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta en el agua.

La concentración de TDS es la suma de todas las sustancias disueltas en el agua que pueden ser medidas después de filtrar el agua. En la mayoría de los casos, los TDS están compuestos principalmente de iones.

El monitoreo del agua de consumo humano en el caserío Retamayoc arrojó un valor de TDS de 84 mg/L. Este dato es significativo para evaluar la calidad del agua, se puede mencionar que cumple con la normatividad vigente.

**Figura 19** Resultados solidos totales disueltos (STD)

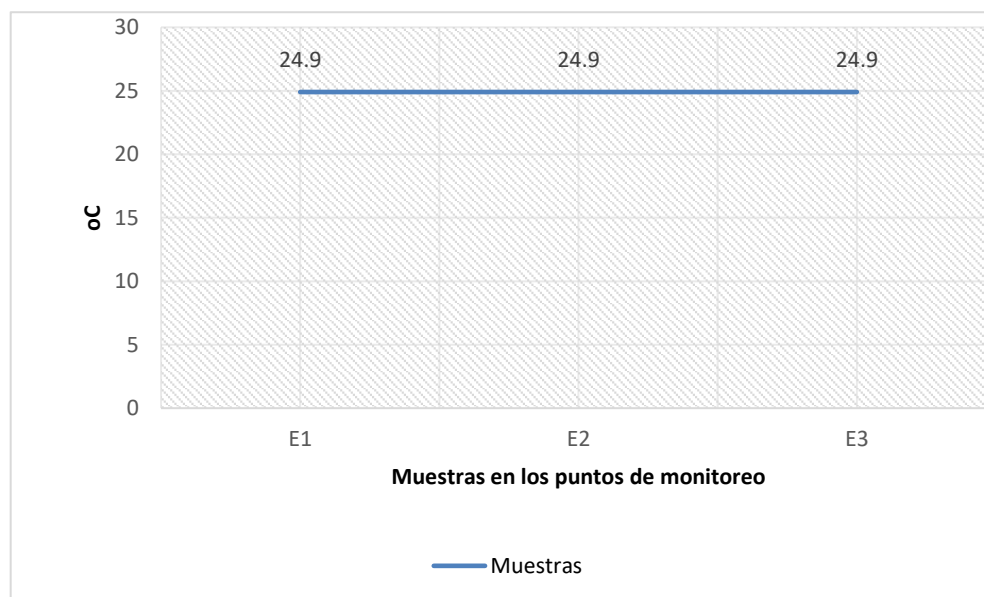


#### D. Temperatura

La temperatura es una medida física que nos indica qué tan caliente o frío está el agua. El calor, en esencia, es la cantidad de energía que posee un cuerpo. Cuando hablamos de la temperatura de un líquido, las moléculas que lo componen se mueven lentamente. Cuando estas moléculas energéticas chocan con moléculas menos energéticas, transfieren parte de su energía, lo que hace que el calor se mueva de las zonas más calientes hacia las más frías.

El monitoreo del agua destinada al consumo humano en el caserío Retamayoc registró una temperatura de 24.9 °C. Aunque este valor es relevante para el análisis de la calidad del agua, cabe destacar que no existe un parámetro específico para la temperatura en la normatividad vigente.

**Figura 20** Resultados de la temperatura



### **E. Turbiedad**

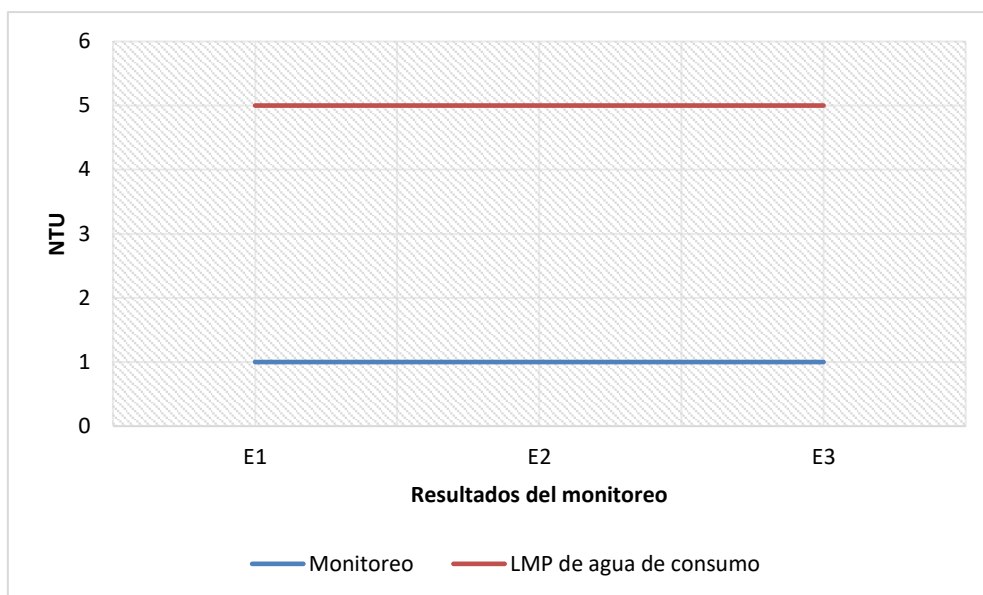
La turbidez es uno de los indicadores clave de la calidad del agua, ya que refleja su nivel de contaminación. Este parámetro es crucial en las pruebas de laboratorio para evaluar el rendimiento de plantas de tratamiento de agua para consumo humano, aguas residuales y plantas purificadoras.

Las partículas y sólidos en suspensión en el agua pueden servir como vehículos para parásitos, bacterias, gérmenes y virus. Además, estas partículas pueden formar una especie de barrera que reduce la efectividad del cloro como desinfectante, lo que obliga a utilizar concentraciones más altas de cloro en el agua potable para lograr el mismo nivel de desinfección.

Los límites de turbidez establecidos por la normatividad vigente, tienen como objetivo garantizar que el agua sea clara y segura para el consumo.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la turbidez en el agua potable no supere los 5 NTU. En el caserío Retamayoc, se registró un valor de turbidez de 1 NTU en el agua destinada al consumo humano, lo que refleja una buena calidad.

**Figura 21** Resultados de turbiedad



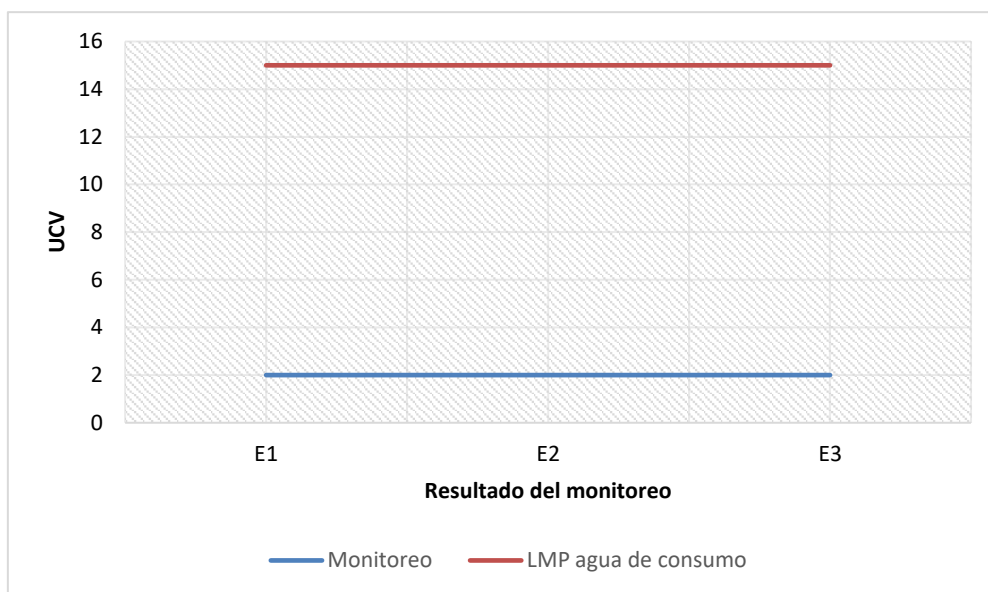
#### **F. Color**

El color del agua, un parámetro organoléptico que ayuda a evaluar su calidad para el consumo humano, está asociado con las sustancias disueltas y las partículas suspendidas presentes en ella. Medir el color del agua es esencial para determinar la cantidad de materia orgánica natural, ya que su presencia puede aumentar el riesgo de formación de subproductos dañinos durante el proceso de desinfección, como los trihalometanos.

Los resultados de los monitoreos mostraron un valor de 2 UCV, lo que significa que se encuentra dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, según el DS N° 031-2010-SA.



**Figura 22** Resultados del color

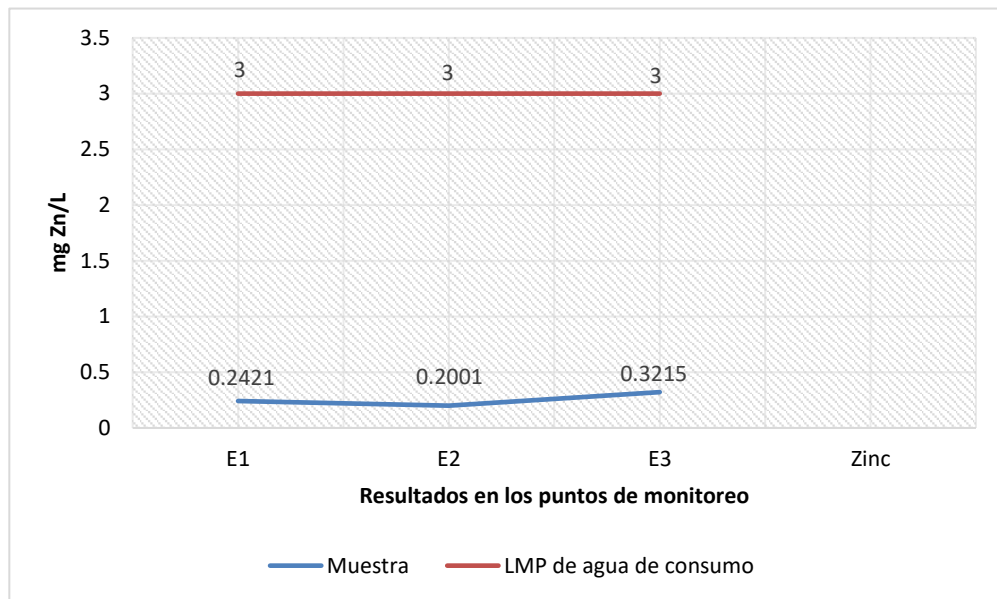


### G. Zinc

El zinc es un mineral esencial para el buen funcionamiento del cuerpo humano. No obstante, cuando el zinc se encuentra en altas concentraciones en el agua de consumo humano, puede provocar problemas digestivos como la gastroenteritis. Afortunadamente, los tratamientos de purificación del agua pueden eliminar la mayoría de los iones metálicos, incluyendo el zinc, asegurando que el agua sea segura para el consumo.

Los resultados de los monitoreos revelaron un rango de 0.2001 a 0.2421 mg Zn/L, lo cual está bien por debajo del límite máximo permitido de 3 mg Zn/L según la normativa vigente establecida en el DS N° 031-2010-SA.

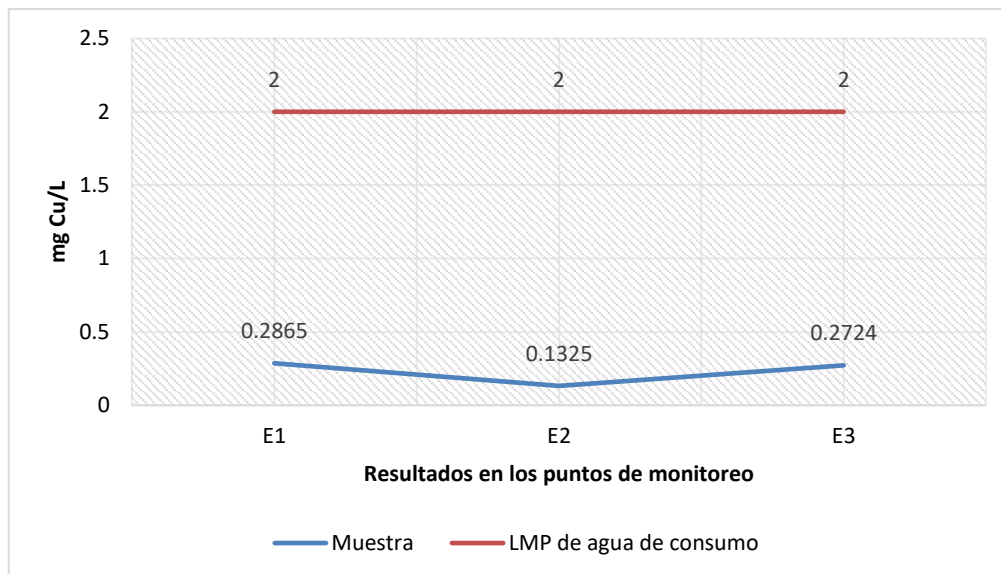
**Figura 23** Resultados del contenido de zinc



#### H. Cobre

El cobre no es un veneno que se acumule en el cuerpo de manera sistémica. Ingerir dosis de hasta 100 mg puede causar síntomas como gastroenteritis y náuseas. El envenenamiento por cobre en el agua es poco probable, ya que el sabor desagradable que produce permite detectarlo fácilmente. Existen pocos datos sobre los efectos tóxicos a largo plazo del cobre. Los monitoreos del agua potable en el caserío Retamayoc revelaron que el contenido de cobre oscila entre 0.1325 y 0.2865 mg/L, valores que están significativamente por debajo del límite máximo de 2 mg/L estipulado en la normativa vigente según el DS N° 031-2010-SA.

**Figura 24** Resultados del contenido de cobre



## I. Hierro

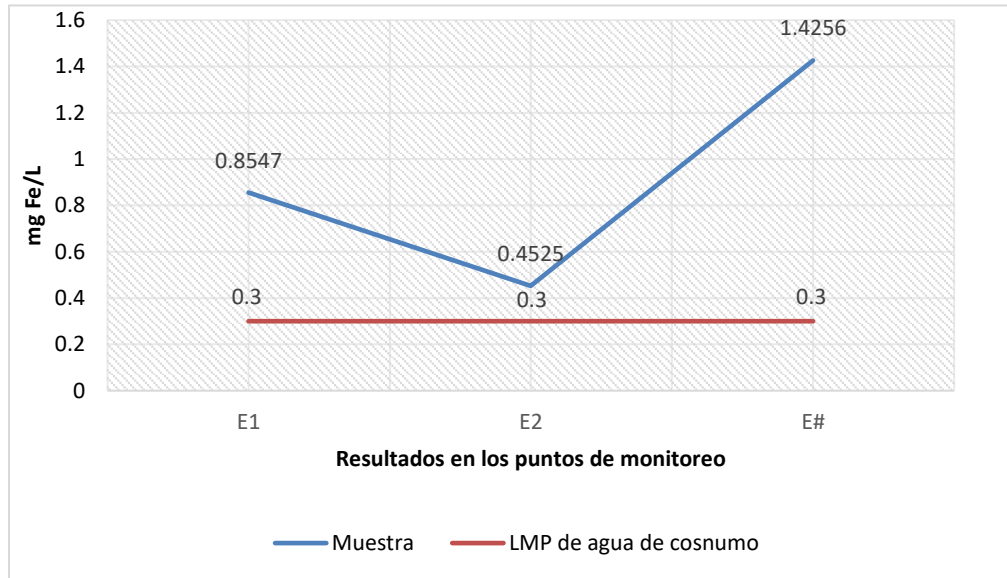
El hierro en el agua es un fenómeno natural, ya que es un elemento abundante en la corteza terrestre y puede infiltrarse en el agua subterránea mientras esta se filtra a través del suelo. Además, su presencia en el agua puede estar relacionada con la corrosión de tuberías y tanques de almacenamiento metálicos que contienen hierro. Cuando ocurre corrosión, el hierro se desprende y se disuelve en el agua, pudiendo luego depositarse en otras partes del sistema de distribución, creando nuevos puntos de corrosión.

Aunque las concentraciones de hierro en el agua generalmente no representan un riesgo para la salud, pueden afectar el sabor del agua y causar manchas de color marrón rojizo en ropa, platos, utensilios, vasos, y accesorios de plomería.

Los análisis del agua potable en el caserío Retamayoc indicaron que los niveles de hierro varían entre 0.4525 y 1.4256 mg/L superando

considerablemente el límite máximo de 0.3 mg/L establecido por la normativa vigente en el DS N° 031-2010-SA.

**Figura 25** Resultados del contenido de hierro

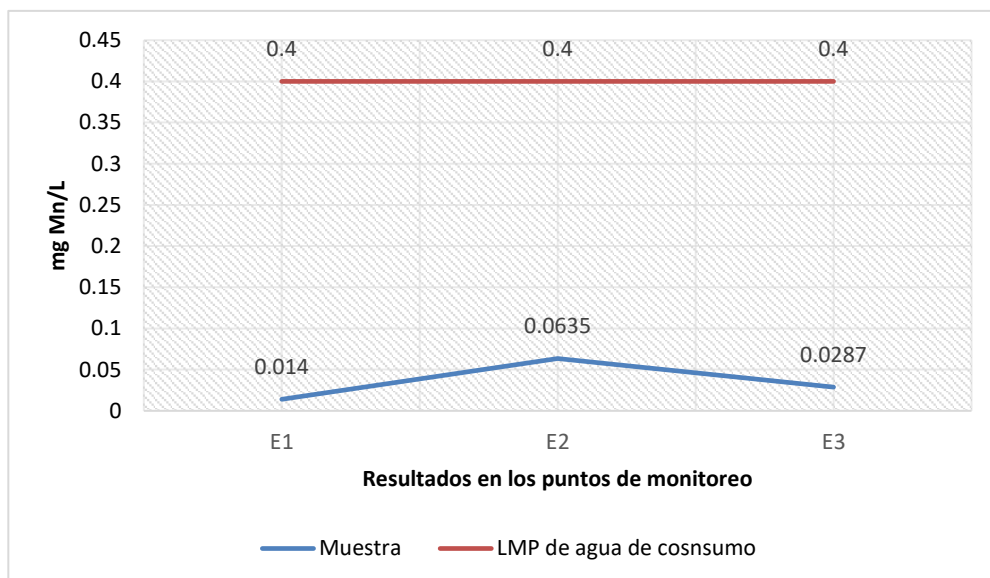


## J. Manganeso

La concentración de este elemento en el agua suele ser menor que la del hierro. En promedio es de aproximadamente 0.0354 mg/L. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, como la presencia de bacterias activas o ambientes reductores, los niveles pueden superar esta cifra. Su presencia en el agua suele estar relacionada con la del hierro.

Los estudios del agua potable en el caserío Retamayoc mostraron que los niveles de manganeso oscilan entre 0.0140 y 0.0635 mg/L, lo que está muy por debajo del límite máximo permitido de 0.4 mg/L según la normativa vigente establecida en el DS N° 031-2010-SA.

**Figura 26** Resultados del contenido de manganeso



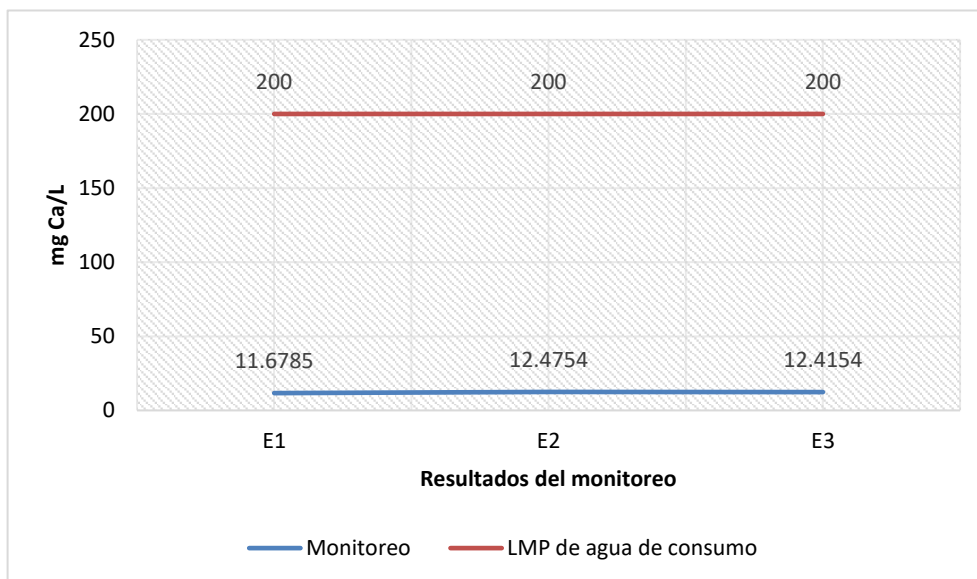
### K. Calcio

Antes de llegar a los hogares en el caserío Retamayoc, el agua pasa por diversas formaciones geológicas que influyen en la cantidad de sales de calcio y magnesio que contiene. Estas sales dependen del tipo de roca que el agua atraviesa en los acuíferos.

Si el terreno es principalmente de piedra caliza, el agua tendrá mayor dureza debido a la alta concentración de calcio y magnesio. Por otro lado, si el agua pasa a través de rocas como los silicatos, como el granito, la concentración de estos minerales será mucho menor. Los términos "agua dura" y "agua blanda" se refieren justamente a esta característica: la dureza del agua se debe a la cantidad de calcio y magnesio presentes, lo que determina si el agua es considerada dura o blanda.

Los estudios realizados en el agua potable del caserío Retamayoc revelaron que los niveles de manganeso fluctúan entre 11.6785 y 12.4754 mg/L, valores que están muy por debajo del límite máximo permitido de 200 mg/L establecido por la normativa vigente en el DS N° 031-2010-SA.

**Figura 27** Resultados del contenido de calcio

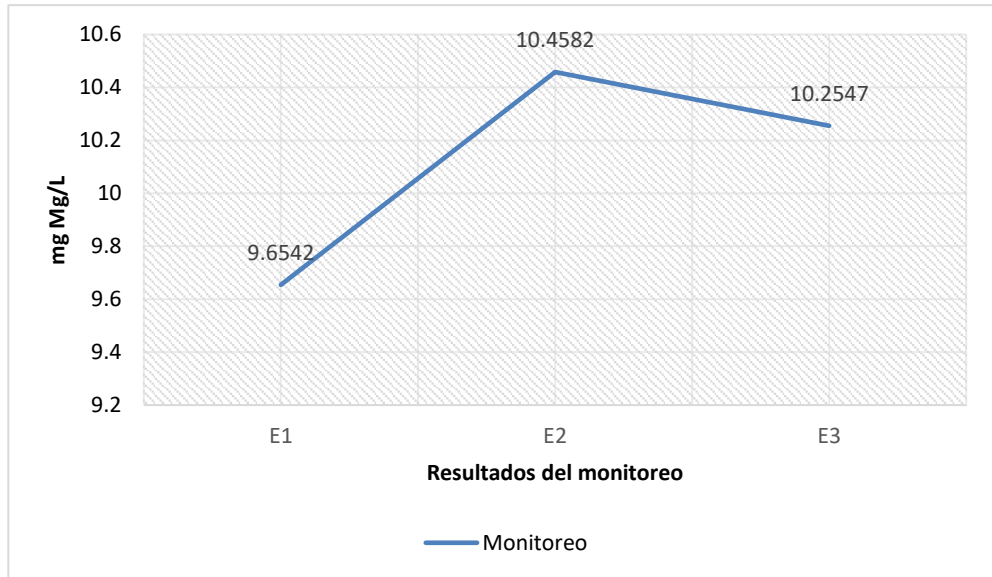


#### L. Magnesio

Beber agua con altos niveles de sales de magnesio y calcio también puede afectar nuestra salud. Por ejemplo, el riñón, al filtrar el agua y eliminar residuos, puede comenzar a formar cálculos o piedras renales debido a la acumulación de estas sales. Estas calcificaciones dentro del cuerpo pueden convertirse en un problema de salud significativo.

Los análisis del agua potable en el caserío Retamayoc, indicaron que los niveles de magnesio varían entre 9.6541 y 10.4582 mg/L, en cuanto a este parámetro medido la normativa vigente en el DS N° 031-2010-SA no contempla un LMP.

**Figura 28** Resultados del contenido de magnesio

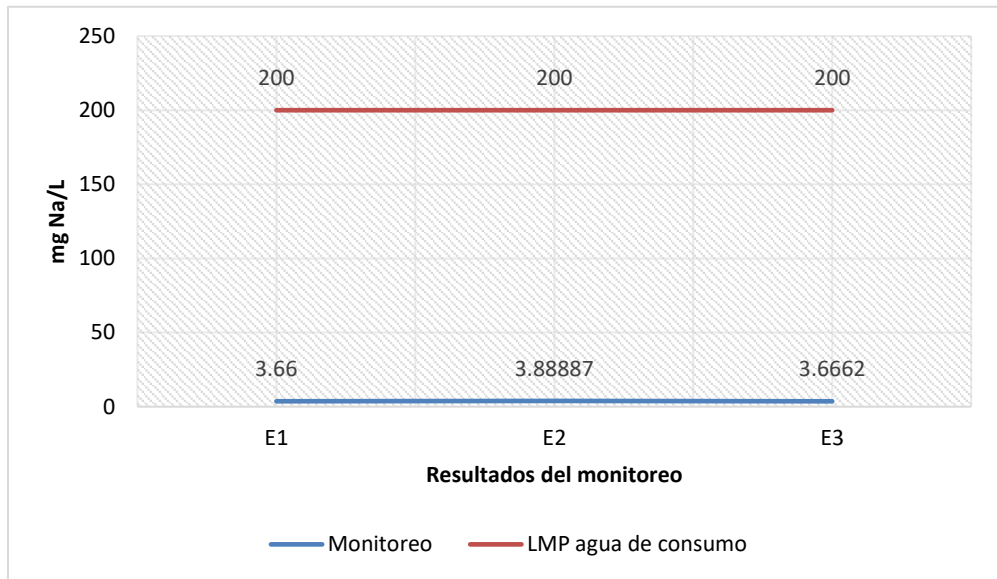


### M. Sodio

Los minerales son fundamentales para el funcionamiento adecuado de nuestros músculos, huesos y órganos vitales. El tipo de agua que consumimos puede variar en su contenido mineral, dependiendo de la fuente. Entre los minerales más comunes en el agua se encuentran el sodio, calcio, flúor, magnesio, hierro y potasio.

En el caserío Retamayoc, la mayoría de las aguas naturales tienen niveles de sodio bastante bajos, alrededor de 3.6600 a 3.8887 mg/l. Por lo tanto, son adecuadas para ser consumidas por los bajos contenido de sodio.

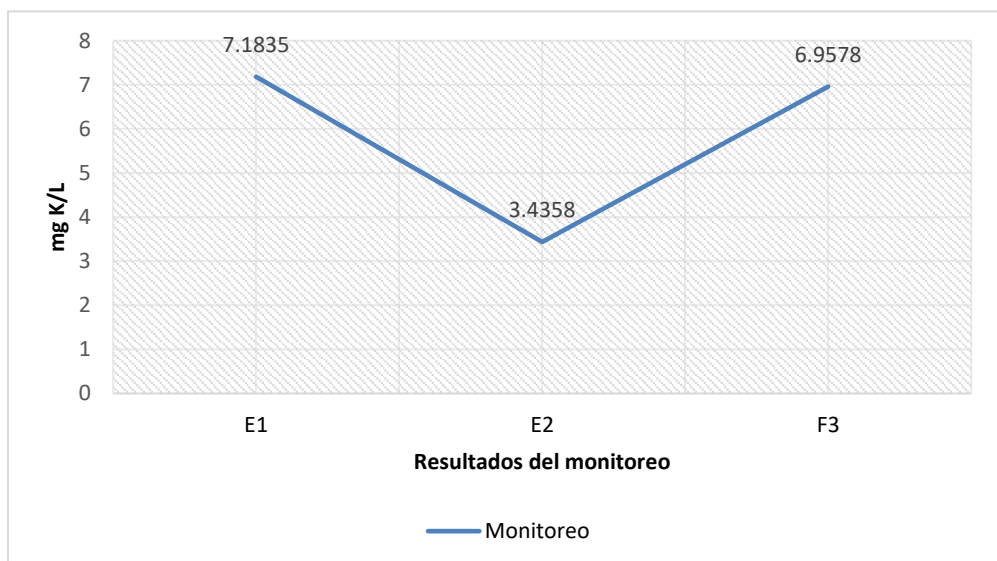
**Figura 29** Resultados del contenido de sodio



#### N. Potasio

El contenido de potasio en las aguas naturales suele ser bajo porque el potasio no se disuelve fácilmente en la mayoría de sus formas. Generalmente, las aguas naturales en el caserío Retamayoc, tienen menos de 3.4358 a 7.1835 mg/L de potasio.

**Figura 30** Resultados del contenido de potasio



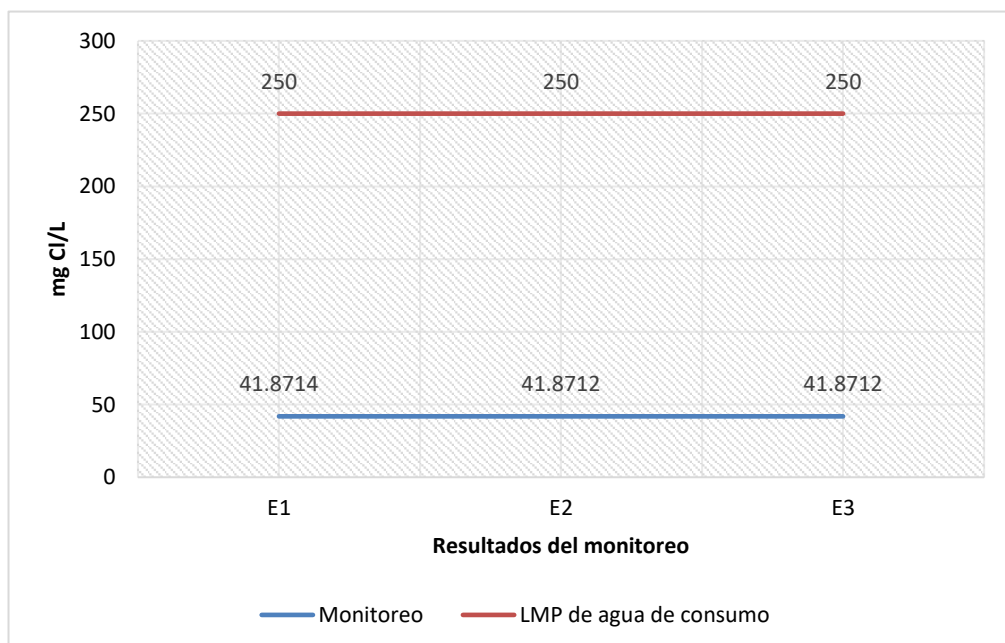


## O. Cloruros

El cloruro puede estar presente en el agua potable debido a causas naturales, como la disolución de minerales en el suelo y las rocas que atraviesa el agua. Sin embargo, las concentraciones de cloruro pueden aumentar por actividades humanas. Si estas aguas residuales no se tratan adecuadamente, pueden contaminar tanto las fuentes de agua subterránea como las superficiales. Además, los fertilizantes que contienen cloruro, frecuentemente usados en la agricultura, pueden contribuir a la contaminación del agua.

Los estudios del agua potable en el caserío Retamayoc, mostraron que los niveles de cloruros se encuentran entre 41.8712 y 41.8714 mg/L, inferior al límite máximo permitido de 250 mg/L establecido por la normativa vigente en el DS N° 031-2010-SA

**Figura 31** Resultados del contenido de cloruros

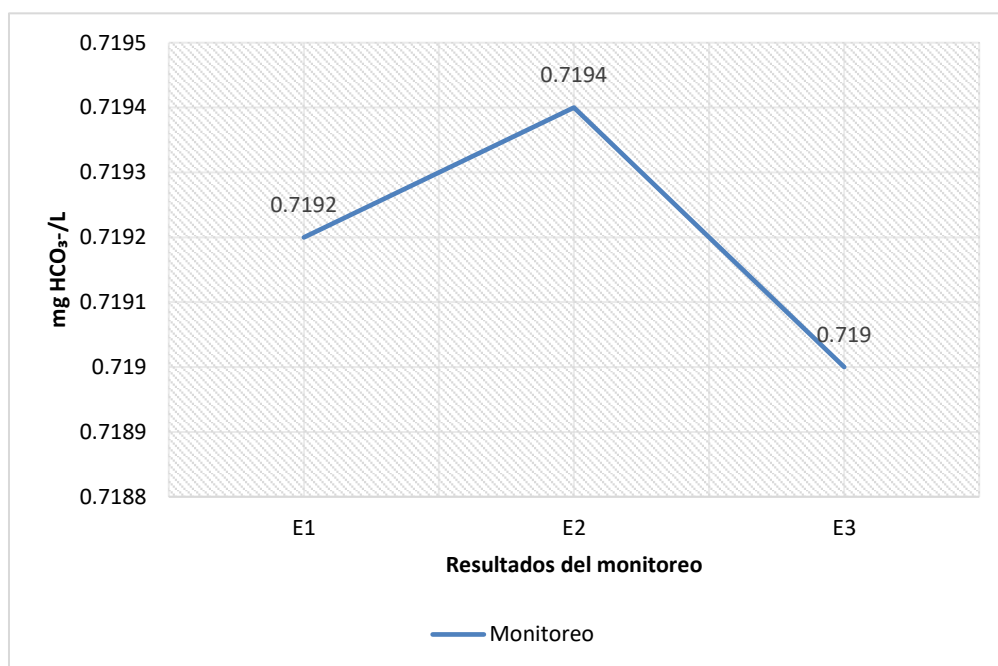


## P. Bicarbonato

El bicarbonato de sodio es un recurso natural altamente efectivo con múltiples usos, disuelto en agua puede ayudar a combatir infecciones urinarias al disminuir la acidez de la orina. Este efecto se debe a que la naturaleza alcalina del bicarbonato reduce los niveles de acidez, creando un entorno menos favorable para las bacterias que causan la infección, y ayudando a prevenir su crecimiento.

Los estudios realizados en el agua potable del caserío Retamayoc revelaron que los niveles de magnesio fluctúan entre 0.719 y 0.7194 mg/L. Actualmente, no existe un límite máximo permitido (LMP) establecido para este parámetro en la normativa vigente según el DS N° 031-2010-SA.

**Figura 32** Resultados del contenido de bicarbonatos

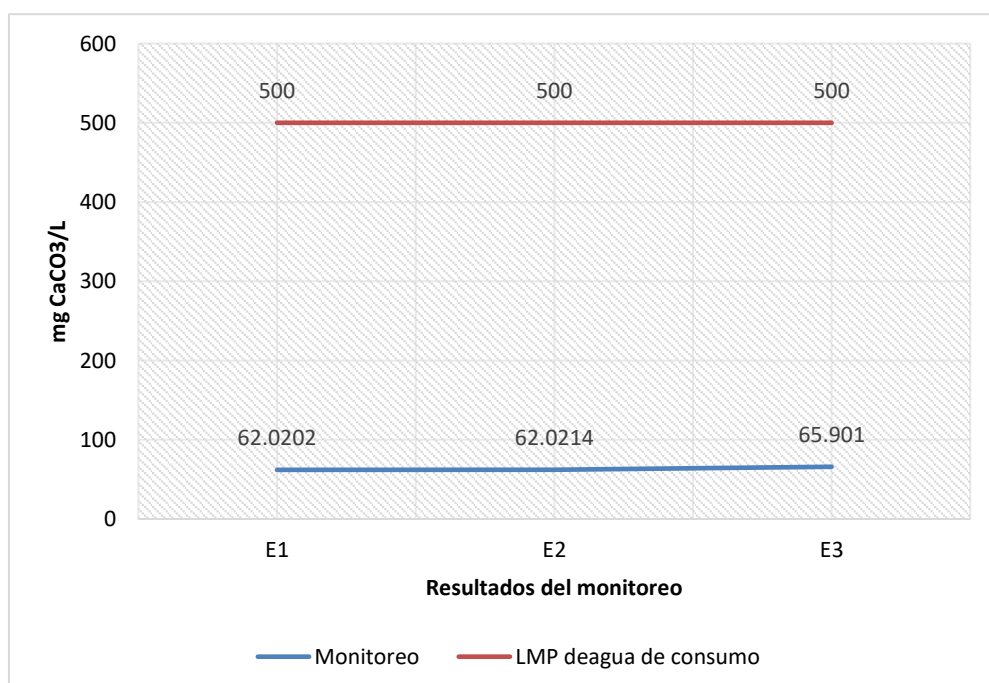


## Q. Dureza

La dureza del agua refleja la cantidad de minerales disueltos en ella. Un agua es más dura cuanto mayor es su contenido mineral, mientras que las aguas blandas tienen muy pocos minerales presentes. Una alta concentración de compuestos como la cal puede influir en el sabor del agua, en su uso en la cocina, en la eficiencia de los electrodomésticos, y en la conservación de tuberías y sistemas de distribución, aunque su impacto en la salud humana es mínimo.

Los análisis del agua potable en el caserío Retamayoc mostraron que los niveles de magnesio oscilaron entre 62.0202 y 65.9010 mg/L, lo cual está significativamente por debajo del límite máximo de 500 mg/L establecido por la normativa vigente en el DS N° 031-2010-SA.

**Figura 33** Resultados del contenido de dureza



## **Parámetros microbiológicos y parasitológicos**

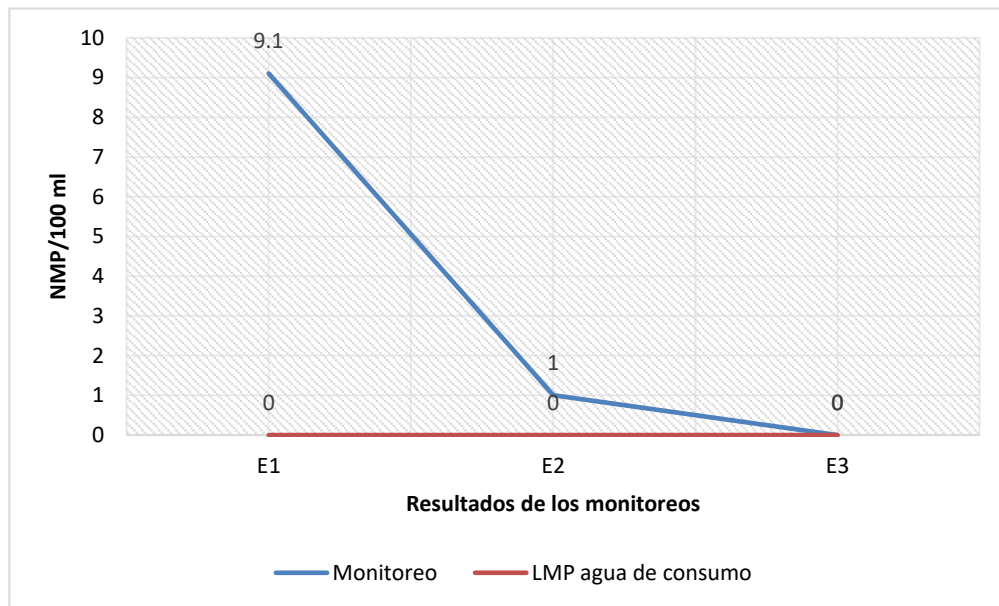
### **A. Coliformes Totales**

Los coliformes totales son bacterias en forma de bacilos que son Gram negativas, capaces de fermentar lactosa a temperaturas entre 35 y 37 °C, produciendo ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en un plazo de 24 horas. Estas bacterias son aerobias o anaerobias facultativas, no forman esporas, son oxidasas negativas y tienen actividad enzimática β-galactosidasa. Entre los coliformes totales se encuentran *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*.

La prueba principal para detectar coliformes se basó en la hidrólisis de la lactosa, un proceso catalizado por la enzima β-D-galactosidasa. Para identificar esta enzima, se utilizó medios cromogénicos como el Agar Chromocult para coliformes.

El agua de consumo humano en el caserío Retamayoc, que ingresan a los canales de entrada a los sedimentadores de la planta, presentó 9.1 NMP/100ml de coliformes totales, mientras que en los tanques de almacenamiento se registró un valor de 1 NMP/100ml y en las piletas, 0 NMP/100ml. Estos resultados se deben a la efectividad de la cloración, que ayuda a prevenir la presencia de estos coliformes, cumpliendo con los estándares establecidos en la normativa vigente del DS N° 031-2010-SA.

**Figura 34** Resultados del contenido de coliformes totales



## B. Coliformes Termotolerantes

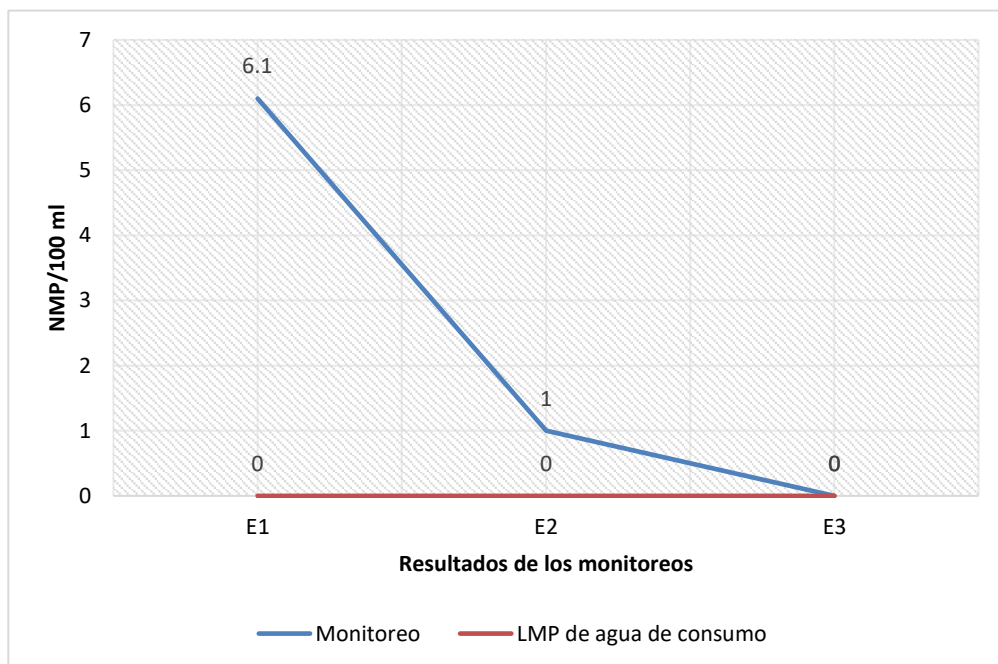
Los coliformes termotolerantes (CTE), llamados así porque pueden sobrevivir a temperaturas de hasta 45 °C, son un pequeño grupo de microorganismos que se utilizan como indicadores de la calidad del agua debido a su origen. Aunque la mayoría de estos coliformes están representados por *E. coli*, también pueden incluir, aunque en menor medida, especies como *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*. Estas últimas, aunque pertenecen al grupo de los coliformes termotolerantes, suelen tener un origen ambiental, como fuentes de agua, vegetación y suelos, y solo ocasionalmente forman parte del microbiota normal.

Debido a esta distinción, algunos expertos sugieren que el término "coliformes fecales" debería reemplazarse por "coliformes termotolerantes". Estos microorganismos son parte del grupo más amplio de coliformes totales, pero se diferencian porque son indol positivo, pueden crecer en un rango de temperatura más amplio (hasta 45 °C) y son mejores indicadores de la higiene en el agua. Su presencia indica contaminación fecal de origen

humano o animal, ya que los coliformes termotolerantes, principalmente *E. coli*, están presentes en el microbiota intestinal.

El agua destinada al consumo humano en el caserío Retamayoc, al ingresar a los canales de entrada a los sedimentadores de la planta, mostró 6.3 NMP/100ml de coliformes termotolerantes. En los tanques de almacenamiento, se registró un valor de 1 NMP/100ml, mientras que en las piletas se alcanzó un nivel de 0 NMP/100ml. Estos resultados reflejan la eficacia del proceso de cloración en la eliminación de estos coliformes, cumpliendo así con los estándares estipulados en la normativa vigente del DS N° 031-2010-SA.

**Figura 35** Resultados del contenido de coliformes termotolerantes



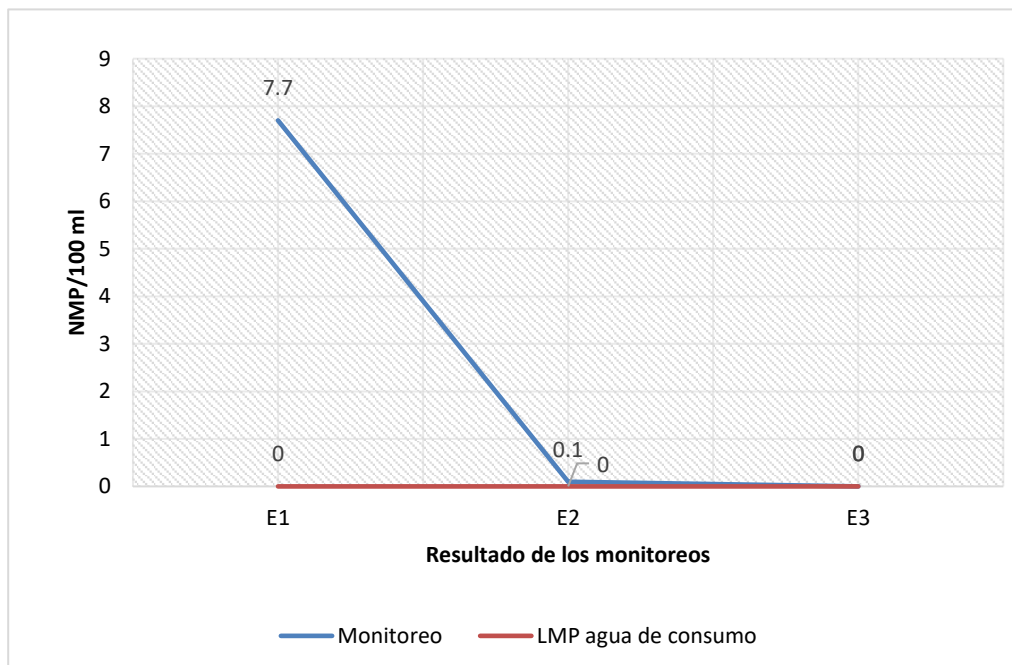
### C. *Escherichia coli*

*Escherichia coli*, es una bacteria que pertenece a la familia Enterobacteriaceae. Es un microorganismo Gram negativo y anaerobio facultativo, que forma parte de la flora intestinal normal tanto en humanos como en animales de sangre caliente, siendo la bacteria anaerobia

facultativa más abundante en el intestino. Se excreta diariamente en grandes cantidades con las heces (entre  $10^8$  y  $10^9$  unidades formadoras de colonias (UFC) por gramo de heces) y, debido a sus características, se ha convertido en uno de los indicadores más comunes de contaminación fecal.

El agua destinada al consumo humano en el caserío Retamayoc, presentó 7.7 NMP/100ml de E. Coli al ingresar a los canales de entrada de los sedimentadores de la planta. En los tanques de almacenamiento, este valor se redujo a 0.1 NMP/100ml, y en las piletas alcanzó 0 NMP/100ml. Estos resultados demuestran la efectividad del proceso de cloración en la eliminación de estos coliformes, cumpliendo con los estándares establecidos en la normativa vigente del DS N° 031-2010-SA.

**Figura 36** Resultados del contenido de E. Coli



#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

Para la demostración de la prueba de la hipótesis, se ha planteado realizar la evaluación de la condición de la calidad del agua de consumo humano en los parámetros: fisicoquímico, inorgánicos y microbiológico, en las poblaciones de la zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de Tomay Kichwa y provincia de Ambo.

Por lo que se concluye que cumplen los límites establecidos en el DS N° 031-2010-SA, que, de acuerdo con el reglamento de la calidad del agua para consumo humano, el agua que es inocua para la salud y que cumple con los límites máximos permisibles (LMP) es apta para el consumo humano. Este reglamento establece, en sus anexos, los valores permitidos para los parámetros microbiológicos, organolépticos e inorgánicos, y la conformidad con los LMP se determinó mediante una comparación con estos valores. Cada parámetro tiene sus propios indicadores, que sirven para validar la hipótesis correspondiente.

#### **4.4. Discusión de resultados**

El resultado de esta tesis se alcanzó mediante una comparación con los límites máximos permisibles (LMP) para aguas superficiales establecidos en el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Se evaluaron los valores de los parámetros físicos y químicos: pH, Conductividad eléctrica, Temperatura, Turbiedad, Color, STD, Cu, Zn, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Cloruros, Bicarbonato y Dureza. En cuanto a los parámetros microbiológicos, como coliformes totales, termotolerantes y E. Coli, se observaron concentraciones elevadas antes del tratamiento en la planta de tratamiento de agua de consumo humano (PTAP). En cuanto a los parámetros organolépticos, el color verdadero no es de preocupación al igual la turbidez por estar dentro de estos LMP. El pH se mantuvo estable, mientras que el desinfectante inorgánico residual mostró valores nulos antes del tratamiento



y valores adecuados (entre 0.5 mg/L y 5.0 mg/L) después del tratamiento, con una ligera disminución debido al aumento del caudal.

Los hallazgos de esta tesis se compararon con estudios previos. Por ejemplo, Quintuña y Concepción (2019) observaron que, aunque la mayoría de los parámetros fisicoquímicos cumplían con las normas, el color y los sólidos totales disueltos estaban dentro de los rangos permitidos, similar a lo encontrado. Además, en el análisis microbiológico, detectaron la presencia de coliformes totales en el agua tratada, lo que no cumplía con los estándares de la OMS, aunque los coliformes totales, termotolerantes y E. Coli, estaban dentro de los límites establecidos. En contraste, en esta tesis, el agua tratada sí cumplió con los LMP para los parámetros microbiológicos.

Por otro lado, Bracho y Fernández (2017) identificaron contaminación en todas las fuentes de agua analizadas, principalmente debido a actividades agrícolas y ganaderas, lo que se asemeja a la situación en zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua, donde la captación de agua y la línea de conducción superan los LMP debido a la contaminación por residuos agrícolas y agropecuarios.

En cuanto al estudio de Núñez (2019) sobre compuestos clorados, encontró que las concentraciones eran bajas, lo que indicaba un proceso de cloración deficiente. En cambio, esta tesis demostró que el proceso de cloración en zona rural del caserío Retamayoc en el distrito de TomayKichua es eficiente, aunque algunos puntos mostraron concentraciones cercanas al límite inferior de 0.5 mg/L.

Finalmente, los resultados de esta tesis difieren de los obtenidos por Aguilar y Navarro (2018), quienes concluyeron que el agua no era apta para consumo humano debido a la presencia de coliformes fuera de los límites permitidos. Además, Castillo (2016) observó concentraciones bacteriológicas que superaban los límites, indicando una cloración insuficiente. En cambio, los

hallazgos de esta tesis son consistentes con los de Canseco (2017), quien también encontró que las muestras de agua para consumo humano en Abancay cumplían con los LMP establecidos, a pesar de variaciones mínimas en los resultados de los laboratorios.

## CONCLUSIONES

1. Se observó un rango de pH de 7.51 a 7.56, lo que indica una ligera alcalinidad en el agua. Este valor cumple con los límites máximos permisibles establecidos en el DS N° 031-2010-SA. En cuanto a la conductividad eléctrica, los resultados de los monitoreos mostraron un rango de 173 a 192  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual también está dentro de los límites permitidos por la normativa. La concentración de sólidos disueltos totales (TDS), que mide la suma de todas las sustancias disueltas en el agua después de ser filtrada, es un parámetro importante. En el caserío Retamayoc, se registró un valor de TDS de 84 mg/L, lo que cumple con la normatividad vigente. La temperatura de 24.9 °C. Aunque este valor es relevante para el análisis de la calidad del agua, no hay un parámetro específico para la temperatura en la normativa vigente. En relación a la turbidez, la Organización Mundial de la Salud (OMS) sugiere que no debe exceder los 5 NTU en agua potable, en Retamayoc, se registró un valor de 1 NTU, lo que sugiere una buena calidad del agua. Además, los resultados de los monitoreos indicaron un valor de 2 UCV para el color verdadero, lo cual está dentro de los límites establecidos por la normativa.
2. En cuanto a los metales presentes en el agua, los niveles de zinc se encontraron entre 0.2001 y 0.2421 mg/L, muy por debajo del límite máximo permitido de 3 mg/L según el DS N° 031-2010-SA. El contenido de cobre osciló entre 0.1325 y 0.2865 mg/L, también significativamente por debajo del límite máximo de 2 mg/L establecido en la normativa. Sin embargo, los análisis mostraron que los niveles de hierro varían entre 0.4525 y 1.4256 mg/L, superando considerablemente el límite máximo de 0.3 mg/L. En contraste, los niveles de manganeso estuvieron entre 0.0140 y 0.0635 mg/L, muy por debajo del límite máximo permitido de 0.4 mg/L. Los niveles de magnesio fluctuaron entre 11.6785 y 12.4754 mg/L, y aunque estos valores están bien por debajo del límite máximo permitido de 200 mg/L, la normativa vigente no establece un límite máximo permisible para este parámetro.

3. En el caserío Retamayoc, las aguas naturales presentan niveles de sodio notablemente bajos, con valores que oscilan entre 3.6600 y 3.8887 mg/L. Esto las hace adecuadas para el consumo humano, dado su bajo contenido de sodio. En cuanto al potasio, que no se disuelve fácilmente en sus diversas formas, se registraron concentraciones en las aguas naturales del caserío que varían entre 3.4358 y 7.1835 mg/L, lo cual también es bajo. Los niveles de cloruros se sitúan entre 41.8712 y 41.8714 mg/L, muy por debajo del límite máximo permitido de 250 mg/L según la normativa vigente establecida en el DS N° 031-2010-SA. Asimismo, se encontró que los niveles de magnesio fluctúan ligeramente entre 0.719 y 0.7194 mg/L. Aunque actualmente no se ha establecido un límite máximo permitido (LMP) para el magnesio en la normativa vigente, estos valores indican una concentración baja.
4. Los análisis del agua potable en el caserío Retamayoc revelaron que los niveles de dureza fluctuaron entre 62.0202 y 65.9010 mg/L, lo cual se encuentra muy por debajo del límite máximo permitido de 500 mg/L según la normativa vigente del DS N° 031-2010-SA.
5. En cuanto a los coliformes totales reporto 9.1 NMP/100ml en los canales de entrada a la planta de tratamiento, mientras que, en los tanques de almacenamiento, la cifra disminuyó a 1 NMP/100ml, y en las piletas se observó 0 NMP/100ml. Estos resultados son indicativos de la eficacia del proceso de cloración, que cumple con los estándares establecidos en la normativa vigente. En lo que respecta a los coliformes termotolerantes, el agua que llega a los sedimentadores de la planta registró 6.3 NMP/100ml, reduciéndose a 1 NMP/100ml en los tanques de almacenamiento y a 0 NMP/100ml en las piletas. Estos resultados reflejan la eficiencia del tratamiento con cloro en la eliminación de estos microorganismos, alineándose con los requisitos del DS N° 031-2010-SA. Por otro lado, en relación a la presencia de E. Coli, se registraron 7.7 NMP/100ml al ingresar a los sedimentadores de la planta, con una disminución significativa a 0.1 NMP/100ml en

los tanques de almacenamiento y una eliminación completa en las piletas, con 0 NMP/100ml. Estos datos subrayan la efectividad del proceso de cloración en la purificación del agua, cumpliendo con los estándares de calidad exigidos por la normativa vigente.

## **RECOMENDACIONES**

1. Establecer programas de vigilancia y control de la calidad del agua en el caserío Retamayoc, para prevenir la contaminación antes de su captación, con la participación de la Municipalidad, el Gobierno Regional, DIGESA, Redes de Salud y el Ministerio de Vivienda.
2. Monitorear los puntos críticos del sistema de abastecimiento de agua potable para evitar infiltraciones de contaminantes en las tuberías y estructuras deterioradas; realizar regularmente la limpieza y desinfección de todos los componentes del sistema de agua en el caserío Retamayoc.
3. Divulgar los hallazgos de esta investigación a la comunidad del caserío Retamayoc, para que puedan exigir a las autoridades de salud y otras instituciones la mejora en el tratamiento del agua que llega a sus hogares.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, A. (1991). Salud Pública y medicina preventiva. Mexico.
- APHA, WPCF, & AWWA:. (1995). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid: Editorial Díaz de Santos, S.A.
- Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros Físico-químicos de calidad de las aguas. Universidad Carlos III.
- Blanco Coaquira, M. (2018). Estudio de la calidad de agua potable para consumo humano en el distrito de Cabanillas, provincia San Román, Departamento de Puno. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- CARBAJAL A, G. M. (2003). Funciones biológicas del agua en relacion con sus características físicas y químicas. En : Agua. El arte del buen comer. pp:249 - 256. Academia española de gastronomía. Barcelona.
- Carbajal Azcano, Á., & Gonzalez Fernandez, M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. En Vaquero, & Toxqui, *Agua para la salud, pasado, presente y futuro* (págs. 33-45). Madrid: CSTC.
- Cava Suárez, T., & Ramos Arévalo, F. d. (2016). Caracterización físico – química y microbiológica de agua para consumo humano de la localidad Las Juntas del distrito Pacora – Lambayeque, y propuesta de tratamiento. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo: Lambayeque.
- Cisneros Rosazza, R. F. (2019). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en comas (lima), Quispicanchi (Cusco) y Coronel Portillo (Ucayali) durante el 2017. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Cova, V. (2018). *Físico-química biológica*. Santa Fe de la Vera Cruz: Universidad Nacional del Litoral.
- Erdal, U., Erdal, Z., & Randall, C. (2003). A thermal adaptation of bacteria to cold temperatures in an enhanced biological phosphorus removal system. *Water Sci. Technol. Water Science Technology*, 47(11), 123-128.

- Espinosa, T. M., & González, V. (2009). Factibilidad de la implementación de desinfección por ozono para la potabilización del agua en la planta de tratamiento potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga de la ciudad de Valencia, estado Carabobo. Venezuela. *Revista Ingeniería UC*, 51-57.
- Fawell, J., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2003). Contaminantes en el agua potable: contaminación ambiental y salud. *British Medical Bulletin* , 199–208.
- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH*, 26-34.
- Gonzales Saenz, W., Acharte Lume, L. M., Poma Palacios, J. C., Sánchez Araujo, V. G., & Quispe Coica, F. A. (2023). Evaluación fisicoquímica y microbiológica del agua de consumo humano en seis comunidades rurales altoandinas de Huancavelica-Perú. *Journal of High Andean Research*, 23-31.
- González Leal, G. R. (2012). *Microbiología del Agua conceptos y aplicaciones (primera ed.)*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Jario Garavito.
- Hicham, G., Mustapha, A., Mourad, B., Abdelmajid, M., Ali, S., & Yassine, E. Y. (2022). Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas de la llanura del Kert, al noreste de Marruecos. *Energ Water* , 133–147.
- Laura, E. (2009). Control de calidad de los alimentos. Puno.: U. N. Altiplano.
- Loucif, K., Neffar, S., Menasria, T., Cherif Maazi, M., & ouhamdi, M. (2020). Evaluación fisicoquímica y bacteriológica de la calidad de las aguas superficiales del lago Tonga en Argelia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 393-406.
- Mejía Taboada, L. M., Zelada Herrera, M. E., Torres García, L. A., & Cuse Quispe, J. (2019). Análisis microbiológico del agua para consumo humano de la población del centro poblado Pachapiriana, distrito de Chontalí, Provincia de Jaén. *Ciencias Naturales e Ingeniería*, 66-69.



- Minaverry, C. (2014). Análisis Jurídico Sobre la Calidad del Servicio del Agua en Buenos Aires. *Revista Ambiente & Água*. 9 (1), 173-183.
- MINSA. (2015). DS 160-2015-DIGESA se aplica el Protocolo de Procedimientos para la toma de muestras, Preservación, Conservación, Transporte Almacenamiento y Recepción de agua para Consumo Humano". 1-23.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C., & Escobar, J. (2011). Efecto del incremento en la turbiedad del agua cruda sobre la eficiencia de procesos convencionales de potabilización. Medellín, Colombia. *Revista EIA*, 137-148.
- OMS. (2006). Agua, saneamiento y salud: Enfermedades. Recuperado el 20 de Agosto de 2018, de Agua, saneamiento y salud: Enfermedades. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/diseasefact/es/index.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/index.html).
- OMS. (2009). Medición del cloro residual en el agua. Guía técnica. 11. *Organización Mundial de la Salud*, <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf>.
- Pantelić, N. Đ., Dramićanin, A. M., Milovanović, D. B., Popović-Đorđević, J., & Kostić, A. Z. (2017). Evaluación de la calidad del agua potable en el distrito de Rasina, Serbia: punto de vista fisicoquímico y bacteriológico . *Faculty of Chemistry Repository - Cherry*, 1-16.
- Petro Nieves, A. K., & Wees Martínez, T. D. (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del municipio de Turbaco–Bolívar, Caribe Colombiano. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Ramos Pérez, C. J. (2011). Presencia de coliformes totales y fecales en el agua del río Matlacobalt, Xico, México. México: Universidad Veracruzana.
- Rodas, A., & Abner, M. (2010). Evaluación de la calidad fisicoquímica, bacteriológica y medición del caudal en agua de pozos para consumo humano, del casco urbano del municipio de Chiquimula. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Rojas Osorio, L. F. (2018). Caracterización fisicoquímica y bacteriológica de agua de consumo humano del centro poblado de San Marcos, distrito de Chontabamba, provincia de Oxapampa. Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.
- Rojas, R. (2002). Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS/OPS. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Roldán Estrada, A. M. (2006). Determinación de la calidad físico- química y bacteriológica del agua para consumo humano que se distribuye a la población del municipio de Guazacapán, Santa Rosa. Tesis en química bióloga. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ros Moreno, A. (2011). El agua, calidad y contaminación (1/2). *Mailxmail*.
- Sánchez, A., Cohim, E., & Kalid, R. (2015). Revisión de la contaminación fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia recogida en tejados de zonas urbanas. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 119-137.
- Severiche Sierra, C. A., Castillo Berte, M. E., & Acevedo Barrios, R. L. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. Cartagena de Indias: Editado por la Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso para eumed.net.
- Trujillo, D., Duque, L., Arcila, J. S., Rincón, A., Pacheco, S., & Herrera Adarme, O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. Manizales, Colombia. *Revista ION*, 17-34.

## **ANEXOS**



## Anexo 02

### Límites permisibles para agua de consumo humano

Según **MINSA (2011)**, los límites permisibles para ser considerado agua de consumo humano se muestran en los cuadros 1.

**Cuadro 1.** Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Bacterias coliformes totales	UFC/100 ml a 35 °C	0 (*)
<i>E. coli</i>	UFC/100 ml a 44.5 °C	0 (*)
Bacterias coliformes termotolerantes o fecales	UFC/100 ml a 44.5 °C	0 (*)
Bacterias Heterotróficas	UFC/100 ml a 35 °C	500
Huevos y larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos	Nº org/L	0
Virus	UFC/ml	0
Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nematodos 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.

Fuente: **MINSA (2011)**.

### Anexo 03

Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Olor	---	Aceptable
Sabor	---	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25 °C)	µmho/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg Cl/L	250
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	250
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	500
Amoniaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Manganeso	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2.0
Zinc	mg Zn/L	3.0
Sodio	mg Na/L	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: **MINSA (2011)**.

## Anexo 05

### Informe de análisis de muestra laboratorio de ensayo

#### PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS

#### 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. Niquel	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

Nota 2: Para una desinfección eficaz en las redes de distribución la concentración residual libre de cloro no debe ser menor de 0,5 mgL-1.