



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

Tema: Estudio de los criterios fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en agua para consumo humano en la comunidad de Misquilli, en la parroquia de Santa Rosa, provincia de Tungurahua

Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniera Biotecnóloga, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

La propuesta está dentro del proyecto de investigación de la DIDE sobre la “Caracterización de fuentes hídricas superficiales en la Zona Andina del Río Pastaza, Ecuador” aprobada mediante Resolución UTA-CONIN-2022-0030-R

Autora: Jennifer Katherine Lozada López.

Tutor: Dr.-Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

Ambato - Ecuador

Septiembre - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr-Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Titulación y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 21 de Julio del 2023

Dr-Ing. Rodny David Peñafiel Ayala

C.I. 1712283520

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jennifer Katherine Lozada López, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Biotecnología, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Jennifer Katherine Lozada López

C.I. 1804353876

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que considere el presente Trabajo de Titulación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Jennifer Katherine Lozada López

C.I. 1804353876

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente de Tribunal

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldás

C.I. 1802706596

Dr. Santiago Casado Rojo

C.I. 1759126954

Ambato, 15 de Agosto del 2023

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Franklin Lozada, Patricia López y a mis hermanos Erik y Mateo quienes me han brindado su apoyo y confianza para salir adelante, superar cada obstáculo y reto en la vida.

Con mucho cariño, Jennifer Katherine Lozada López

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios por brindarme la oportunidad de superarme cada día y estar rodeado de las personas importantes en mi vida.

Agradezco a mis padres y hermanos por su amor, paciencia y apoyo incondicional en mi desarrollo profesional. También agradezco a la familia López Paucar y Lozada Garcés por su apoyo constante.

Agradezco especialmente a mis amigos cercanos que encontré durante mi trayecto universitario: Angy, Jeanette, Milena y Santiago. Ellos me brindaron ayuda en momentos difíciles y siempre me animaron y motivaron. También agradezco a mis amigos que son como hermanos: Erika, Estefanía, Salome, Daniela y Alex, quienes nunca me abandonaron a lo largo de todo el camino.

Quiero agradecer a mi tutor PhD. Rodney Peñafiel por compartir su conocimiento y experiencia en cada etapa de este proyecto de investigación, ayudándome a alcanzar los objetivos propuestos.

Por último, quiero agradecer a todas las personas que formaron parte de mi formación profesional. Su contribución ha sido fundamental y les estoy muy agradecido.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos	1
1.1.1 Justificación	1
1.1.2 El agua potable	3
1.1.3 Calidad del agua	3
1.1.4 Características fisicoquímicas del agua.....	4
1.1.4.1 Características físicas: temperatura y turbidez.....	4

1.1.5	Características químicas	5
1.1.5.1	Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO).....	5
1.1.5.2	Dureza	6
1.1.5.3	Oxígeno disuelto (OD).....	6
1.1.5.4	Potencial de hidrógeno (pH).....	6
1.1.5.5	Potencial redox (ORP).....	7
1.1.5.6	Conductividad.....	7
1.1.6	Metales presentes en los recursos hídricos	7
1.1.7	Indicadores microbiológicos de contaminación	10
1.1.7.1	Coliformes fecales (CF).....	10
1.2	Objetivos	11
1.2.1	Objetivo general.....	11
1.2.2	Objetivos específicos	11
CAPÍTULO II		12
METODOLOGÍA		12
2.1	Materiales	12
2.1.1	Materiales de laboratorio, reactivos, equipos, insumos y materiales de escritorio.	12
2.2	Métodos	15
2.2.1	Tipo de muestreo	15
2.2.2	Recolección de la muestra, transporte y almacenamiento	15
2.2.3	Preservantes, transporte y almacenamiento	17
2.2.4	Detección de los parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	17
2.2.5	Detección de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio	17
2.2.5.1	Sólidos totales en suspensión (SST).....	17
2.2.5.2	Sólidos disueltos totales (SDT).....	18
2.2.5.3	Sólidos totales (ST)	18
2.2.5.4	Detección de parámetros por medio del fotómetro multiparamétrico	
19		
2.2.5.4.1	Alcalinidad (CaCO ₃)	19
2.2.5.4.2	Nitratos (NO ₃ ⁻).....	19

2.2.5.4.3 Nitritos (NO_2^-).....	19
2.2.5.4.4 Amonio (NH_3).....	20
2.2.5.4.5 Fosfatos (PO_4^{3-}).....	20
2.2.5.4.6 Cloruros (Cl^-).....	20
2.2.5.4.7 Cloro libre (Cl_2).....	20
2.2.5.4.8 Sulfatos (SO_4^{2-}).....	21
2.2.5.4.9 Fluoruro (F^-).....	21
2.2.5.4.10 Magnesio (Mg^{2+}).....	21
2.2.5.4.11 Manganeso (Mn).....	21
2.2.5.4.12 Potasio (K^+).....	22
2.2.5.4.13 Calcio (Ca^{2+}).....	22
2.2.5.4.14 Cromo hexavalente (Cr^{6+}).....	22
2.2.5.4.15 Cobre (Cu).....	22
2.2.5.4.16 Zinc (Zn).....	22
2.2.5.4.17 Bromo (Br_2).....	23
2.2.5.4.18 Hierro (Fe).....	23
2.2.5.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	23
2.2.6 Determinación de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb) por el método de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS)	24
2.2.7 Determinación de coliformes fecales.....	25
CAPÍTULO III.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1 Análisis y discusión de resultados.....	27
3.1.1 Obtención de parámetros fisicoquímicos in situ.....	27
3.1.1.1 Turbidez, pH y temperatura.....	29
3.1.1.2 Determinación de oxígeno disuelto.....	29
3.1.1.3 Potencial REDOX (ORP).....	30
3.1.2 Detección de coliformes fecales.....	30
3.1.3 Detección de metales pesados.....	35
3.1.4 Detección de la composición química del agua.....	37

CAPÍTULO VI.....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
4.1 Conclusiones	40
4.2 Recomendaciones	41
Bibliografía:	42
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reactivos de laboratorio.....	12
Tabla 2. Materiales de laboratorio	13
Tabla 3. Equipos de laboratorio	14
Tabla 4. Insumos de laboratorio.....	14
Tabla 5. Materiales de escritorio.....	15
Tabla 6. Código de la muestra e identificación de los puntos de muestreo	16
Tabla 7. Parámetros para considerar para la determinación de metales pesados por GFAAS.....	25
Tabla 8. Parámetros geográficos y condiciones meteorológicas tomados in situ en los puntos de muestreo planteados.....	28
Tabla 9. Resultados en UFC/100mL de coliformes fecales en muestras de agua.....	31
Tabla 10. Resultados del análisis en el laboratorio realizado de los parámetros fisicoquímicos en las aguas superficiales.....	32
Tabla 11. Resultados del análisis en el laboratorio realizado de los metales pesados en aguas superficiales.....	36
Tabla 12. Concentraciones de los aniones y cationes del agua en meq/L.....	38
Tabla 13. Criterios de Calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014 de agua potable. Expresados como Unidades de la tabla de TULSMA.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tanque de tratamiento de desinfección por cloro	2
Figura 2 División Hidrográfica de la subcuenca del río Ambato.....	16
Figura 3 Composición química del agua por medio del diagrama de Piper	38
Figura 4 Primer punto de muestreo (A) en la zona alta del tanque principal de almacenamiento general del agua	50
Figura 5 Segundo punto de muestreo (B) en el tanque rompe presión.	50
Figura 6 Tercer punto de muestro (C), tanque de cloración.....	51
Figura 7 Cuarto punto de muestreo (D), tanque rompe presión después del tratamiento.	51
Figura 8 Quinto punto de muestreo (E), casa central en la comunidad de Misquilli.	52
Figura 9 Sexto punto de muestreo (F), casa del consumidor en la comunidad de Misquilli	52
Figura 10 Etiquetado de muestras	53
Figura 11 Análisis de coliformes fecales mediante el método de filtración de membrana.....	53
Figura 12 Ilustración de la determinación de coliformes fecales del punto A en la dilución 1/10.	54
Figura 13 Utilización de fotómetro de HANNA para análisis de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua.....	54

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de esta investigación es realizar una caracterización de la calidad del agua y determinar la concentración de metales pesados en la comunidad de Misquilli, perteneciente a la parroquia de Santa Rosa. Se llevó a cabo un monitoreo en mayo del 2023, tomando 6 muestras a lo largo de la ruta de transporte del agua, desde su origen hasta el punto de consumo.

Además, se realizaron análisis de las características fisicoquímicas del agua mediante el uso del fotómetro para minerales y el espectrofotómetro de absorción atómica para metales pesados; en el análisis microbiológico se realizó a partir de filtración por membrana, siguiendo los límites permitidos establecidos en el anexo 1 de la Normativa de Calidad Ambiental (Tabla 1 TULSMA) para aguas de fuentes, y en el anexo 2 de la Norma INEN 1108:2014 para agua potable. Los valores obtenidos fueron interpretados comparándolos con las normas estipuladas en la ordenanza.

Se identificaron algunos parámetros fisicoquímicos que excedieron los límites máximos permisibles (LMP) en el agua de fluoruro con valores entre 3.7 a 4.2 miligramos por litro (LMP de 1.5 miligramos por litro INEN 1108:2014 y Tabla 1 TULSMA), cadmio con valores 0.0032 y 0.0046 miligramos por litro (LMP de 0.003 miligramos por litro INEN 1108:2014), cloro libre residual con valores por debajo de 0.04 miligramos por litro (rango permisible entre 0.3 a 1.5 miligramos por litro INEN 1108:2014) y coliformes fecales con valores de 15 UFC por 100 mL (LMP menor a 1 UFC por 100 mL INEN 1108:2014).

Palabras claves: metales pesados, calidad del agua, coliformes fecales, agua potable, contaminación ambiental.

ABSTRACT

The objective of this research is to characterize the water quality and determine the concentration of heavy metals in the community of Misquilli, belonging to the parish of Santa Rosa. Monitoring was carried out in May 2023, taking 6 samples along the water transport route, from its origin to the point of consumption.

In addition, analyses of the physicochemical characteristics of the water were performed using the photometer for minerals and the atomic absorption spectrophotometer for heavy metals; in the microbiological analysis was performed from membrane filtration, following the allowable limits established in Annex 1 of the Environmental Quality Regulations (Table 1 TULSMA) for source water, and in Annex 2 of INEN Standard 1108:2014 for drinking water. The values obtained were interpreted by comparing them with the standards stipulated in the ordinance.

Some physicochemical parameters were identified that exceeded the maximum permissible limits (MPL) in fluoride water with values between 3.7 to 4.2 milligrams per liter (MPL of 1.5 milligrams per liter INEN 1108:2014 and Table 1 TULSMA), cadmium with values 0.0032 and 0.0046 milligrams per liter (MPL of 0.003 milligrams per liter INEN 1108:2014), free residual chlorine with values below 0.04 milligrams per liter (permissible range between 0.3 to 1.5 milligrams per liter INEN 1108:2014) and fecal coliforms with values of 15 CFU per 100 mL (MPL less than 1 CFU per 100 mL INEN 1108:2014)

Key words: heavy metals, water quality, fecal coliforms, drinking water, environmental pollution.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Justificación

El agua es un elemento fundamental para los seres vivos por lo cual su calidad representa un valor ecológico para la salud y el crecimiento económico (**Chávez, 2018**). La disponibilidad y facilidad de acceso al agua segura y de calidad es el principal derecho humano. Por lo cual, el objetivo para el 2030 de la Asamblea General de las Naciones Unidas (AGNU) plantea la disponibilidad de agua potable y su debido saneamiento para todos. Aunque las multitudes del mundo tiene acceso al agua, existe numerosos lugares que el agua no es segura para el consumo humano (**Jiménez & Olvera-Balderas, 2019**).

En el Ecuador, se ha registrado que un 83% de personas reciben agua de la fuente con calidad, es decir que se libera de microorganismos tal como *E. coli* (**Baque et al., 2016**). En cuanto, a la provincia de Tungurahua no hay suficiente agua potable tratada para el consumo humano, por lo tanto, existen áreas rurales que no se abastecen con este recurso, por lo que utilizan otras fuentes de agua como son los lagos, montañas y pozos. Siendo así que son administradas de manera directa del punto de origen hacia el consumidor, lo que es necesario tener un tratamiento para este elemento vital evitando así los patógenos que contiene, causante de ciertas enfermedades (**Uddin et al., 2021**).

En la parroquia de Santa Rosa, existe la fuente de agua potable conocida como el canal de Huachi-Pelileo que abastece a su zona central, mientras que en las comunidades se sustentan por aguas naturales, esto se debe al déficit hídrico anual que el Cantón Ambato presenta. Siendo así una de las fuentes principales de agua de una gran parte de las comunidades son los páramos, que llega desde el Carihuairazo. Centrándonos así, en la comunidad de Misquilli quienes consumen de estas aguas

superficiales (**Pérez,2015**). Las aguas presentes en esta zona no tienen un tratamiento avalado por organizaciones municipales, es decir que desconocen de la calidad de agua que llega a los habitantes de dicha comunidad (**Apella & Araujo, 2019**). Por lo cual, se ha venido llevando a cabo un tratamiento de desinfección por medio de la administración de 2 tabletas de cloro cada mes. Además, del aseo a cada uno de los tanques donde se almacena y distribuye el agua.

Figura 1

Tanque de tratamiento de desinfección por cloro.



En la determinación de la calidad de agua se describe por medio de normas que se estipula en cada país, evaluando las propiedades físicas, químicas, biológicas y estéticas del agua. La mayoría de las propiedades del agua viene influenciada por procesos naturales o actividades humanas. Uno de los aspectos principales es el contenido microbiológico ya que puede verse comprometida durante la recolección, transporte y el almacenamiento en el hogar. Las posibles fuentes de contaminación pueden ser afectadas por la defecación a campo abiertos, los desechos de los animales, las actividades económicas (agrícolas, industriales y comerciales), los desechos de áreas residenciales y las inundaciones (**Yaillet & Carvajal, 2017**).

Por tal motivo, considerando los antecedentes en la presente investigación se propone analizar los parámetros fisicoquímicos y microbianos del agua en la comunidad de Misquilli, evaluando así la calidad de agua de la zona. Además, se

compararán con las Normas respectivas de consumo humano y agua potable para el establecimiento de propuestas en investigaciones futuras que brinden un manejo sustentable y cumpla con los requerimientos medioambientales y de sanidad para el bienestar de la población ecuatoriana (**Ríos-Tobón et al., 2017**).

1.1.2 El agua potable

El agua es fundamental para el cuerpo humano, por su influencia en la salud, comodidad y rendimiento en las personas. Debido, a esto representa un aspecto primordial para poder sobrevivir, por lo cual, es necesario conocer la calidad de agua que se está consumiendo. En la actualidad, no existe la debida preocupación acerca de la seguridad que el agua potable llegue al consumidor, ya que se ve afectada por diversos factores como actividades humanas, la falta de protección a las fuentes de agua y el aumento progresivo de la contaminación (**Wee et al., 2022**).

1.1.3 Calidad del agua

Las aguas superficiales y los acuíferos se ven afectados por ciertos contaminantes como son los productos químicos, microbiológicos y radionucleidos. Por lo cual, se requiere de tratamientos que ayude a la eliminación y evitar contaminación en el agua. Uno de estos procesos es la desinfección, permitiendo la reducción de la prevalencia de enfermedades que pueden ser transmitidas por el agua como la fiebre tifoidea, cólera y la hepatitis. Aunque, existen otros tratamientos, esto va a depender de las características y contaminantes que presente el origen (**Cuéllar et al., 2017**).

El agua potable viene a ser de suma importancia para proteger la salud y el bienestar de los seres humanos, de tal forma que llegue de manera segura y adecuada. Uno de los aspectos principales es la contaminación microbiana, sin embargo, el aumento de las sustancias químicas ha sido un problema en la actualidad, por su toxicidad que provoca en los organismos de quienes consumen esta agua. Los contaminantes más

comunes pueden ser por sustancias naturales como la lixiviación del arsénico y magnesio del suelo, también contaminantes introducidos por las actividades humanas como agricultura, industrias, entre otros (**Luvhimbi et al., 2022**).

El control de calidad de agua consiste en la monitorización del conjunto de actividades permanentes que garanticen que el agua de consumo humano cumpla con todos los requisitos que estipula la norma vigente. En el Ecuador, se rige por la Norma INEN 1108:2014 para la calidad de agua potable y el Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA 097) para los criterios de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

1.1.4 Características fisicoquímicas del agua

Los parámetros fisicoquímicos son aquellas sustancias que inciden en el agua sobre las condiciones estéticas. Desempeñan un papel fundamental en la evaluación del medio ambiente acuático, el ecosistema, hidroquímica, la ecología y en la restauración de la calidad del agua (**Rahman et al., 2021**).

1.1.4.1 Características físicas: temperatura y turbidez

La turbidez es causada por partículas en suspensión o coloides, que son las encargadas de parar o reducir la transparencia de agua en mayor o menor grado. Aunque no tiene repercusión de manera directa a la salud, sin embargo, afecta la calidad estética del agua. Por eso la norma estipula mantenerse a niveles bajo para garantizar el proceso de desinfección. Además, puede ser un indicador de presencia de microorganismos patógenos si la turbidez se encuentra en alta concentración (**World Health Organization, 2021**).

Por otro lado, la temperatura es una propiedad física que expresa que tan caliente o fría está el agua. Es un parámetro importante porque permite evaluar la calidad de agua y otros efectos que incluyen propiedades físicas y químicas del agua. También, afecta a la viscosidad y velocidad de las reacciones químicas, por lo tanto, intervienen en los tratamientos de agua (**Díaz & González, 2022**).

1.1.5 Características químicas

El agua tiene la capacidad de disolver una amplia gama de elementos debido a su naturaleza como disolvente universal. Sin embargo, no todos los elementos pueden ser partícipes de los tratamientos del agua que se lleva a cabo desde su origen al consumidor. Debido a esto, los elementos pueden ser tóxicos y afectar directamente a la salud (**Delgado, 2023**).

Existen parámetros químicos que se deben evaluar dentro de la caracterización del agua como es el pH, la acidez, la alcalinidad, el cloro, la dureza, el oxígeno disuelto y la demanda biológica de oxígeno. Estos parámetros son relevantes para evaluar la calidad del agua, ya que diferentes aplicaciones pueden tener requisitos específicos. Por ejemplo, al medir la calidad del agua de un río, uno de los parámetros más importantes es el nivel de oxígeno disuelto. La cantidad de oxígeno presente en el agua indica el grado de contaminación de la muestra (**Su et al., 2022**).

1.1.5.1 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) permite la degradación de materia orgánica, determinado la cantidad de oxígeno que existe en una muestra de agua. Tiene factores que intervienen en la determinación como es la temperatura, tiempo y agente oxidante. Este método suele usarse tanto en aguas naturales como residuales permitiendo el cálculo de materia orgánica que estas pueden tener. Por consiguiente,

para el procedimiento suele utilizarse un oxidante que es el agente químico y un medio ácido, en el cual, se identifique la materia orgánica que puede ser oxidada en una determinada cantidad de oxígeno (Su et al., 2022).

1.1.5.2 Dureza

En cuanto, a la dureza del agua se plantea como la presencia de cationes metálicos, entre los más comunes se encuentra el calcio disuelto (Ca) y el magnesio (Mg). Además, de estar unidos a bicarbonato, sulfato o cloruro en aguas naturales. En el caso, que el agua se evapore alrededor del 61 °C o más, el bicarbonato se transforma en carbonato y precipita junto al calcio formando así carbonato de calcio (CaCO₃). El agua suele ser considerada dura cuando contiene más de 120 mg/L de CaCO₃, si por el contrario es menor de 60 mg/L es considerada blanda (Su et al., 2022).

1.1.5.3 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto (OD) es fundamental para medir la calidad de agua, debido a su relación que existen con la contaminación orgánica. A medida que la temperatura y la salinidad disminuye, la concentración de OD aumenta por efecto de la pendiente y aireación del cuerpo del agua. En condiciones aeróbicas, permite la mineralización de oxígeno, generando dióxido de carbono, nitratos y fosfatos. En cuanto, el oxígeno se haya eliminado completamente, comienza la descomposición anaerobia que produce metano, amonio y sulfuro de hidrógeno (Su et al., 2022).

1.1.5.4 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH puede afectar al agua de ciertas formas como la corrosión y la formación de depósitos en las redes de distribución. Aunque, no tiene influencia en la salud, si puede verse afectado en el tratamiento del agua, la coagulación y desinfección. Sin

embargo, puede presentarse en un rango de 5 a 9 en aguas naturales (Su et al., 2022).

1.1.5.5 Potencial redox (ORP)

El potencial de redox permite calcular la energía química de oxidación- reducción, por medio de un electrodo que se transforma en energía eléctrica. Es utilizado para el saneamiento del agua potable y se expresa en milivoltios (mV). Además, permite conocer el potencial de agente de oxidación y reducción que se encuentran. El ORP mide la actividad de electrones en comparación con la actividad del electrodo de referencia, manteniendo un potencial constante (Su et al., 2022).

1.1.5.6 Conductividad

La conductividad en el agua mide la capacidad que tiene para conducir corriente eléctrica. Según el Sistema Internacional de Unidades, se expresa en siemens por metro (S/m), pero por lo general se usa microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) con una temperatura de 25 °C. Las sales disueltas están relacionadas con la conductividad del agua, debido a que, si se disocian, generan iones que tienen la capacidad de transportar corriente eléctrica. Sin embargo, su solubilidad es influenciada por la temperatura, por lo cual la conductividad va a depender de a que temperatura se encuentre el agua (Solís et al., 2018).

1.1.6 Metales presentes en los recursos hídricos

Los metales pesados son elementos metálicos con propiedades tóxicas, alta densidad, gravedad específica o peso atómico elevado. Si bien se encuentran de forma natural en la corteza terrestre, las actividades humanas irresponsables han alterado su equilibrio geoquímico y bioquímico de manera significativa, lo que resulta en su

presencia en nuestro suministro de agua potable. Es evidente que, durante el transporte del agua hacia el consumidor, la calidad del agua puede sufrir modificaciones debido a la transferencia de metales presentes en las tuberías de agua potable, así como a la acumulación de incrustaciones corrosivas en las mismas **(González et al., 2013)**.

Los metales pesados representan una potencial amenaza para la salud humana, pudiendo encontrarse en el agua en forma coloidal, particulada o disuelta. Algunos de estos metales son necesarios en pequeñas cantidades para el funcionamiento adecuado del cuerpo humano, como el hierro, cobre, cobalto, molibdeno, manganeso y zinc **(Rehman et al., 2018)**. Sin embargo, la mayoría de estos metales se consideran contaminantes ambientales, como el arsénico, plomo, mercurio, cromo, zinc, cadmio, cobre y níquel. Por lo tanto, es esencial identificar y eliminar estos elementos de los recursos hídricos para preservar su calidad **(Gong et al., 2021)**.

El plomo es uno de los metales tóxicos más comunes en el agua potable. Tanto el plomo como el cobre pueden liberarse de las tuberías y las soldaduras que suministran agua a nuestros hogares, lo cual es especialmente problemático en viviendas antiguas. Los efectos tóxicos del plomo pueden causar daño en el sistema nervioso y cerebral, siendo los niños especialmente vulnerables a sus efectos. La exposición al plomo también puede provocar daño renal y trastornos sanguíneos **(Pájaro et al., 2017)**.

Por otro lado, el cobre, como subproducto de la corrosión de las tuberías, el drenaje ácido de minas, la producción de hierro y acero, y el tratamiento de aguas residuales, puede causar anemia, trastornos digestivos y daño hepático y renal en niveles altos de exposición. A diferencia, el cromo, como subproducto de la minería, la producción de cromo, cemento, detergentes y la incineración, puede ocasionar daño en los riñones **(Huaman, 2019)**.

El níquel es liberado al medio ambiente a través de centrales eléctricas, fábricas de metales e incineradores de residuos. También se utiliza en fertilizantes y puede ingresar al agua subterránea a través de la escorrentía agrícola. El níquel tiene un potencial de reciclaje de hasta el 60%. Se estima que el cuerpo humano contiene alrededor de 10 mg de níquel (**World Health Organization, 2021**).

El cadmio (Cd) es un metal tóxico que se libera al medio ambiente debido a fuentes tanto naturales como humanas. En cuanto a las fuentes naturales, se incluye la actividad volcánica, los incendios forestales y el transporte de partículas del suelo por el viento. Por otro lado, las fuentes antropogénicas comprenden la minería, el uso de fertilizantes fosfatados, la fundición de metales, la quema de combustibles fósiles, la fabricación de baterías, pigmentos, cemento y plásticos (**Mero et al., 2019**).

La toxicidad del arsénico no está determinada por su origen, sino por la especie y el estado de oxidación del elemento, los cuales a su vez están influenciados por el potencial redox (Eh) y el pH. En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, que generan condiciones oxidantes, el arsénico prevalece en su estado de oxidación +5 (pentavalente). En condiciones reductoras, como en sedimentos de lagos o aguas subterráneas, el arsénico predomina en su estado de oxidación +3 (trivalente) (**Spindler & González, 2022**).

El zinc es un elemento ampliamente presente en el suelo, la corteza terrestre y también se puede encontrar en el aire, el agua y los alimentos. Es uno de los 23 elementos más comunes. El zinc es un micronutriente esencial para el funcionamiento del cuerpo humano, y una deficiencia de zinc se ha relacionado con enfermedades como la diarrea y la neumonía. En el caso del agua potable, el zinc puede provenir tanto de fuentes naturales presentes en los acuíferos como de compuestos de zinc agregados al agua para prevenir la corrosión de tuberías galvanizadas y otros componentes metálicos del sistema de plomería (**Biasi et al., 2021**).

1.1.7 Indicadores microbiológicos de contaminación

Los organismos indicadores de microorganismos en el agua, como bacterias y virus, son utilizados para evaluar la presencia de patógenos. Es fundamental que estos microorganismos indicadores no sean patógenos, es decir, que no provoquen enfermedades, y que sean detectables de manera confiable incluso en bajas concentraciones o con un crecimiento mínimo (**Proaño, 2022**). Existen diversos tipos de organismos indicadores que pueden emplearse para monitorear la calidad del agua y evaluar su eficiencia. La elección de un organismo indicador dependerá de factores como su límite de detección, su resistencia al estrés ambiental y su susceptibilidad a otras contaminaciones (**Motlagh & Yang, 2019**).

1.1.7.1 Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales son contaminantes comunes que se encuentran en el tracto intestinal tanto de seres humanos como de animales de sangre caliente. Estos microorganismos se presentan en grandes cantidades en el intestino y tienen una mayor persistencia en el agua en comparación con las bacterias patógenas. Además, se comportan de manera similar a los patógenos en los sistemas de desinfección (**Swistock, 2022**). La inactivación de los coliformes fecales se ve afectada por diversos factores ambientales como la humedad, la temperatura, la luz ultravioleta y el pH. Estos microorganismos son más susceptibles a la inactivación cuando se encuentran en un entorno desfavorable y no obtienen los nutrientes necesarios para su crecimiento (**Motlagh & Yang, 2019**).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Estudiar de los criterios fisicoquímicos, microbiológicos y metales pesados en agua para consumo humano en la comunidad de Misquilli, en la parroquia de Santa Rosa, provincia de Tungurahua

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas relevantes para establecer la calidad del recurso hídrico en base a la Norma de TULSMA 097 para el agua de fuente y la Norma NTE INEN 1108-2014 para el agua potable.
- Analizar la concentración de metales pesados en las muestras de agua del área de estudio con las Normas de TULSMA 097 para el agua de fuente y la Norma NTE INEN 1108-2014 para el agua potable.
- Examinar las propiedades microbiológicas del agua conforme con las Normas de TULSMA 097 para el agua de fuente y la Norma NTE INEN 1108-2014 para el agua potable.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Materiales de laboratorio, reactivos, equipos, insumos y materiales de escritorio.

En el presente proyecto de investigación se utilizó los siguientes recursos materiales como son los reactivos (*Tabla 1*), materiales de laboratorio (*Tabla 2*), equipos (*Tabla 3*), insumos (*Tabla 4*) y materiales de escritorio (*Tabla 5*).

Tabla 1. *Reactivos de laboratorio*

Material	Cantidad
Kit nitrato; nitrito; fluoruro; cloruro; calcio; amonio; cloro libre; fosfato; sulfato; magnesio; potasio; manganeso; alcalinidad y bromo (HANNA)	252
Kit cromo (VI); zinc; cobre (HANNA)	54
Kits viales con reactivos DQO de rango alto (HANNA)	36 viales
Agua desionizada	5 L
Agua de peptona (tamponada)	102g
Ampolletas con medio M-FC con ácido risòlico de millipore	36
Ácido nítrico concentrado 65%	3 mL
Solución Estándar de Arsénico, Cadmio; Cromo; Níquel y Plomo	10 mL

Tabla 2. Materiales de laboratorio

Material fungible	Cantidad
Frascos ámbar de vidrio 0,5 y 1 L	12
Frascos de orina (recipientes antisépticos)	18
Coolers	1
Balón de aforo de 100 mL	5
Frascos de polipropileno	18
Desecador	1
Crisoles	18
Papel filtro	1
Filtros de membrana de 0,45 y 0,22 μm	36
Azas bacteriológicas	3
Pinza metálica	1
Embudos	18
Tubos de ensayo	20
Cajas Petri	36
Barras para agitación magnética	18
Guantes estériles	1 paquete
Micropipeta	1
Puntas estériles	1 funda
Matraz Erlenmeyer de 250 mL	18
Portaobjetos	18
Cubreobjetos	18
Espátula	1
Gradilla	1
Papel aluminio	1
Vasos de precipitación 50 mL	18
Probeta de 10 mL	3
Gas Argón	1 cilindro
Tubos de grafito	2

Tabla 3. *Equipos de laboratorio*

Equipos	Cantidad
Plato de calentamiento con agitador magnético	1
Horno microondas para digestión de muestras	1
Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito	1
Medidor multiparámetro HI9829 C/GPS PH/OR, CE, OD	1
Refrigerador	1
Balanza analítica	1
Incubadora	1
Cámara de flujo	1
Filtración al vacío WELCH	1
Estufa	1
Fotómetro multiparamétrico Hanna HI	1
Autoclave	1

Tabla 4. *Insumos de laboratorio*

Equipos	Cantidad
Plástico film	1
Papel absorbente	1
Papel de aluminio	1
Alcohol antiséptico	1
Guantes de nitrilo	1
Cinta adhesive	1

Tabla 5. *Materiales de escritorio*

Equipos	Cantidad
Calculadora	1
Computadora	1
Esferos	3
Lápices	3
Cuaderno	1
Rotulador	1

2.2 Métodos

2.2.1 Tipo de muestreo

El tipo de muestreo que se realizó es un muestreo simple que va desde nacimiento del Carihuarazo hasta el punto de consumo humano, que constó de 6 puntos para analizar por triplicado de cada muestra se presentó por medio de una interpretación estadística, ya que no se tuvo un diseño experimental por el tipo crítico del proyecto (NTE INEN 1108, 2011). Por lo cual, se obtuvo los datos y se compararon con la Norma NTE INEN 1108-2011 de agua potable y Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA 097) para el consumo humano.

2.2.2 Recolección de la muestra, transporte y almacenamiento

Se recolectó en los puntos establecidos, las muestras por triplicado, un litro de agua superficial en botellas ámbar y en recipientes estériles; en los cuatro puntos principales se sumergió la botella a 0,3 m de profundidad por debajo de la superficie del agua, mientras que las 2 muestras de la comunidad se obtuvieron del grifo, pero no conectado, ni en estado directo. Finalmente, cada una de las muestras se etiquetaron de acuerdo con el lugar establecido (Khalaf, 2021).

Figura 2

División Hidrográfica de la subcuenca del río Ambato.



Fuente: (Pérez, 2015)

Tabla 6. *Código de la muestra e identificación de los puntos de muestreo*

Código de muestras	Zona de muestreo	Coordenada geográfica	
		Latitud	Longitud
A-TIN	Rayoloma	1°21 '4.8 ''S	78°43'6.0 ''W
B-TOUT	Angahuana Alto	1°20 '20.6 ''S	78°42'5.6 ''W
C-CIIN	Angahuana Bajo	1°19 '36.7 ''S	78°41'17.0 ''W
D-CIOUT	Misquilli-El rosal	1°19 '13.6 ''S	78°41'7.3 ''W
E-COIN	Misquilli-Casa comunal	1°19 '2.7 ''S	78°40'58.9 ''W
F-COOUT	Misquilli-Domicilio	1°18 '47.6 ''S	78°40'47.0 ''W

2.2.3 Preservantes, transporte y almacenamiento

En las muestras se utilizó los preservantes necesarios para evitar alguna alteración, en base a las Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) 1108 - 2014, añadiendo 0,5 de ácido nítrico al 65% en las botellas ámbar de 0,5 L, sin sobrepasar los días de almacenamiento recomendados para el análisis. Las muestras se transportaron y se mantuvieron en coolers a temperatura de 4°C hasta llegar a los laboratorios de la FCIAB de la Universidad Técnica de Ambato. Finalmente, se almacenó en un refrigerador en la oscuridad (**Khalaf, 2021**).

2.2.4 Detección de los parámetros fisicoquímicos *in situ*

Para la determinación de análisis físicos *in situ*: temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad, turbidez, potencial de redox (ORP), presión atmosférica, oxígeno disuelto (OD), posición y sólidos totales disueltos, se usó el equipo portátil que fue el medidor multiparamétrico Hanna HI 83399. La medición se realizó de forma directa, se introdujo la sonda al agua y se procedió a registrar los valores de cada uno de los parámetros establecidos. El equipo fue calibrado previo a su uso. En cada medición se realizó un lavado al sensor con agua destilada y se secó con papel secante (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5 Detección de los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio

2.2.5.1 Sólidos totales en suspensión (SST)

Este método gravimétrico se basa en la retención de partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea. Primero, se pesó los crisoles y el papel filtro que se encontraron previamente lavados y secados por 2 horas a 105°C en el horno, se dejó enfriar. Luego, se vertieron 50 mL de muestra y se procedió a la filtración de las muestras de agua. Seguidamente, se lleva a la estufa por 2 horas a 105°C (**Baxter, 2017**). Luego, se dejó enfriar en el desecador

hasta temperatura ambiente y se procedió a pesar. Finalmente, se realizó el cálculo SST por medio de la siguiente fórmula:

$$SST = \frac{(P2 - P1) * 1000}{V}$$

Ecuación 1. Sólidos totales en suspensión

Donde:

P1: peso del crisol+ papel filtro (g)

P2: peso del crisol+ papel filtro con residuo (g)

V= volumen de la muestra (mL)

2.2.5.2 Sólidos disueltos totales (SDT)

Una vez realizado sólidos en suspensión, el papel filtro se lo llevó a la estufa a 180°C por 2 horas. Se dejó enfriar en el desecador hasta que el peso fue constante y se registró los resultados (Terry, 2019). Finalmente, se ejecutó la siguiente fórmula:

$$SDT = \frac{(P2 - P1) * 1000}{V}$$

Ecuación 2. Sólidos disueltos totales.

Donde:

P1: peso del crisol (g)

P2: peso residuo seco del filtrado (g)

V= volumen de la muestra filtrada (mL)

2.2.5.3 Sólidos totales (ST)

Se determinó por medio de la suma de los residuos obtenidos en la parte de sólidos disueltos y sólidos suspendidos:

$$ST \left(\frac{mg}{L} \right) = SST + SDT$$

Ecuación 3. Sólidos totales

2.2.5.4 Detección de parámetros por medio del fotómetro multiparamétrico

Se realizó un análisis de cada parámetro a través del fotómetro HANNA 83399, que se basa en una lámpara especial de tungsteno y un filtro de interferencias de banda estrecha que permite las lecturas exactas, siendo un sistema rápido y económico (HANNA Instruments, 2022).

2.2.5.4.1 Alcalinidad (CaCO_3)

Se analizó por el método colorimétrico, que adquiere un rango de 0 a 500 mg/L, con una precisión de ± 5 mg/L. En el cual, se administró un reactivo para la remoción del cloro HI 93755-53 y otro para la detección de alcalinidad que es el HI 775S. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (HANNA Instruments, 2022).

2.2.5.4.2 Nitratos (NO_3^-)

Se analizó por el método adaptado de reducción de cadmio, que adquiere un rango de 0 a 30 mg/L, con una precisión de ± 0.5 mg/L, a una resolución de 0,1mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de nitrato HI 93728-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (HANNA Instruments, 2022).

2.2.5.4.3 Nitritos (NO_2^-)

Se analizó por el método adaptado de diazotización EPA 354.1, que adquiere un rango de 0 a 600 mg/L, con una precisión de ± 20 ug/L, a una resolución de 1 mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de nitrito rango bajo HI 93707-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (HANNA Instruments, 2022).

2.2.5.4.4 Amonio (NH₃)

Se analizó por el método de Nessler que fue adaptado del manual ASTM de agua y tecnología ambiental, D1426. Adquiriendo un rango de 0 a 100 mg/L, con una precisión de ± 0.5 mg/L, a una resolución de 0.1 mg/L. En el cual, se administró el reactivo amoniaco rango alto B HI 93733-0B y el reactivo amoniaco rango alto A HI 93733A-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.5 Fosfatos (PO₄³⁻)

Se analizó por el método adaptado del ácido ascórbico, que adquiere un rango de 0 a 2.5 mg/L, con una precisión de ± 0.04 mg/L, a una resolución de 0.01mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de fosfato rango bajo HI 93713-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.6 Cloruros (Cl⁻)

Se analizó por el método del tiocianato de mercurio (II), que adquiere un rango de 0 a 20 mg/L, con una precisión de ± 0.5 mg/L, a una resolución de 0.1mg/L. En el cual, se administró el reactivo cloruro A HI 93753A-0 y el reactivo B 93753B-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.7 Cloro libre (Cl₂)

Se analizó por el método EPA DPD 330.5, que adquiere un rango de 0 a 5 mg/L, con una precisión de ± 0.03 mg/L, a una resolución de 0,01mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de cloro libre HI 93701-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.8 Sulfatos (SO_4^{2-})

Se analizó por el método de precipitación con cristales de cloruro de bario, que adquiere un rango de 0 a 150 mg/L, con una precisión de ± 5 mg/L, a una resolución de 1mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de sulfato HI 93751-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.9 Fluoruro (F^-)

Se analizó por el método SPADNS, que adquiere un rango de 0 a 20 mg/L, con una precisión de ± 0.5 mg/L, a una resolución de 0.1mg/L. En el cual, se administró el reactivo de fluoruro rango alto A HI 93739A-0 y el reactivo de fluoruro rango alto HI 93739B-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.10 Magnesio (Mg^{2+})

Se analizó por el método de calmagita, que adquiere un rango de 0 a 150 mg/L, con una precisión de ± 5 mg/L, a una resolución de 1 mg/L. En el cual, se administró el reactivo de magnesio A HI 93752A-Mg y el reactivo de magnesio B HI 93752B-Mg. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.11 Manganeso (Mn)

Se analizó por el método periodato, que adquiere un rango de 0 a 20 mg/L, con una precisión de ± 0.2 mg/L, a una resolución de 0.1 mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de manganeso rango alto A HI 93709A-0 y un paquete de reactivo de manganeso rango alto B HI 93709B-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.12 Potasio (K⁺)

Se analizó por el método adaptado turbidimétrico de tetrafenilborato, que adquiere un rango de 0 a 20 mg/L, con una precisión de ± 3 mg/L, a una resolución de 0.1 mg/L. En el cual, se administró el reactivo de potasio A HI 93750A-0 y un paquete de reactivo de potasio B HI 93750B-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.13 Calcio (Ca²⁺)

Se analizó por el método adaptado de oxalato, que adquiere un rango de 0 a 400 mg/L, con una precisión de ± 10 mg/L, a una resolución de 1 mg/L. En el cual, se administró el reactivo de calcio A HI 93752A-Ca y un paquete de reactivo de calcio B HI 93752B-Ca. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.14 Cromo hexavalente (Cr⁶⁺)

Se analizó por el método de difenilcarbohidrazida, que adquiere un rango de 0 a 300 mg/L, con una precisión de ± 1 ug/L, a una resolución de 1 ug/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de sulfato HI 93749-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.15 Cobre (Cu)

Se analizó por el método de EPA, que adquiere un rango de 0 a 1.500 mg/L, con una precisión de ± 0.10 mg/L, a una resolución de 0.001mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de cobre rango bajo HI 93747-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.16 Zinc (Zn)

Se analizó por el método de Zincon, que adquiere un rango de 0 a 3 mg/L, con una precisión de ± 0.03 mg/L, a una resolución de 0.01 mg/L. En el cual, se administró un

paquete de reactivo de zinc A HI 93731A-0 y un reactivo de zinc B HI 93731B-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.17 Bromo (Br_{2+}).

Se analizó por el método de DPD, que adquiere un rango de 0 a 8 mg/L, con una precisión de ± 0.08 mg/L, a una resolución de 0.01mg/L. En el cual, se administró un paquete de bromo HI 93716-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.4.18 Hierro (Fe)

Se analizó por el método de fenantrolina EPA 315B, que adquiere un rango de 0 a 5 mg/L, con una precisión de ± 0.04 mg/L, a una resolución de 0.01mg/L. En el cual, se administró un paquete de reactivo de hierro rango alto HI 93721-0. Finalmente, se esperó tiempo de reacción y se prosiguió a realizar la lectura (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.5.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) indica la cantidad de compuestos oxidables presentes en agua (**Rueda et al., 2019**). Para lo cual, se determinó este parámetro en viales de reactivo COD de rango bajo. Se añadió a cada vial 2 mL de la muestra de cada punto analizar, se introdujeron en el reactor y se calentaron por 2 horas a 150°C. Finalmente, en el proceso de digestión se esperaron 20 minutos para que los viales se enfríen y se invirtió cada vial mientras se encontraban calientes, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se procedió a la lectura de los resultados en mg/L de oxígeno de O_2 (**HANNA Instruments, 2022**).

2.2.6 Determinación de arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb) por el método de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS)

Los metales pesados se determinaron por medio del espectrofotómetro de absorción atómica PG Instruments AA500 por horno de grafito, el cual se fundamenta en medir la absorción de luz en la longitud de onda resonante del elemento cuando la radiación de una lámpara espectral pasa a través del vapor atómico formado en el horno de grafito, por lo tanto, es calentado eléctricamente del espectrómetro durante la descomposición térmica de la muestra inyectada (**Jiménez & Olvera-Balderas, 2019**). Por lo que la concentración de los elementos se determinó a partir de la señal de la absorción integrada y se calculó utilizando un gráfico de calibración preestablecido (**Yaillet & Carvajal, 2017**).

En las muestras de agua se agregó 0.5 mL de HNO₃ al 65%, luego se filtró con membranas de 0.45 µm y se colocó en los pocillos del equipo. Además, se añadió el estándar del metal que se va a analizar y agua destilada. Luego, se configura el equipo con la programación de temperatura, límites de detección y la longitud de onda sugeridas en el Analytical Cookbook PG Instruments del espectrofotómetro de absorción atómica AA500. Por consiguiente, se prosigue a realizar el proceso de medición de las absorbancias vs concentración en mg/L para cada metal cuyos datos fueron almacenados en el software del equipo (**Yaillet & Carvajal, 2017**). Se debe tener en cuenta que se preparó rectas de calibración, utilizando patrones comerciales (1000 mg/L) para para cada metal por separado As, Cd, Cr, Ni, Pb, también blancos y una serie de patrones estándares de diferentes concentraciones.

Tabla 7. *Parámetros para considerar para la determinación de metales pesados por GFAAS*

Metal	Rango de recta de calibración (ppb)	Longitud de onda (nm)	Límite de detección (ppb)
Arsénico	0-80	193.70	0,33
Cadmio	0-50	228.80	0.01
Cromo	0-300	357.9	0.025
Níquel	0-300	232.0	0.065
Plomo	0-150	283.30	0.03

Fuente: (Habibollahi et al., 2019).

2.2.7 Determinación de coliformes fecales

El método que se ejecutó es el filtrado de membrana (MF), debido que es una forma simple y rápida para la determinación de poblaciones bacterianas en el agua. De esta manera, primero se homogenizó la muestra, después con la ayuda de una probeta se transfirió 10 mL de la muestra en cada 90 mL de agua de dilución taponada esterilizada, luego se realizaron diluciones seriadas de 1/10; 1/10². Después, de cada dilución se filtró 100 mL, utilizando los filtros de membrana de 0.45 μ m, en una bomba de vacío en condiciones asépticas para retener las bacterias, enjuagando el embudo 3 veces con 20 mL de agua de dilución tamponada esterilizada, se procedió a apagar el equipo y se retiró los filtros con pinzas (**Garcés, 2021**).

A continuación, se transfirió cada filtro a las cajas Petri con la rejilla hacia arriba, después se abrió una ampolla de medio selectivo de MF-FC con ácido risólico para cada una de las diluciones y se vertió con cuidado el contenido en partes iguales sobre la almohadilla absorbente, se prosiguió a tapar las cajas Petri y se colocaron de forma invertida en la incubadora a 37°C por 24 horas (**Garcés, 2021**). Al finalizar el

tiempo, las cajas Petri se retiraron de la incubadora. Para la detección de coliformes fecales, se observó la presencia de colonias una tonalidad azul violáceo, después se realizó la prueba cuantitativa por medio del recuento de colonias, los resultados en unidad ufc/mL (**Rice et al., 2018**).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Obtención de parámetros fisicoquímicos in situ

Se establecieron seis puntos estratégicos a lo largo de la ruta del agua desde su origen hasta la comunidad de Misquilli, con el propósito de evaluar la calidad del agua. El muestreo se llevó a cabo en un intervalo de tiempo que abarcó desde las 8 a.m. hasta las 11 a.m. con presencia de precipitados.

Se tomaron muestras en diferentes lugares clave a lo largo del recorrido del agua hasta llegar al consumidor. Estos puntos incluyeron lo siguiente: En el punto A se encontraba el tanque general, que recibía agua proveniente del volcán Carihuairazo. En el punto B, se ubicaba un tanque de rompe presión. En el punto C, se localizaba el tanque de cloración, donde se llevaba a cabo el tratamiento mediante la adición de dos tabletas de cloro cada mes. El punto D, correspondía a otro tanque de rompe presión situado después del tratamiento del agua. El punto E se refería a la casa comunal en la zona central de la comunidad de Misquilli. Por último, el punto F representaba una vivienda dentro de dicha comunidad.

Tabla 8. *Parámetros geográficos y condiciones meteorológicas tomados in situ en los puntos de muestreo planteados.*

Parámetros fisicoquímicos	Unidades	Puntos de muestreo					
		PA	PB	PC	PD	PE	PF
pH		7.84 ± 0.04	7.56 ± 0.05	7.58 ± 0.04	7.51 ± 0.03	7.46 ± 0.12	7.74 ± 0.02
Conductividad	μS/cm	77.00 ± 0.00	74.67 ± 0.47	75.33 ± 0.47	76.00 ± 0.00	77.00 ± 0.00	77.00 ± 0.00
Turbidez	NTU	0.30 ± 0.45	0.00 ± 0.00	0.67 ± 0.97	0.20 ± 0.28	0.30 ± 0.42	0.00 ± 0.00
Oxígeno disuelto	%	93.83 ± 0.90	91.73 ± 0.69	83.83 ± 0.25	79.23 ± 3.11	88.80 ± 9.06	68.20 ± 10.54
Oxígeno disuelto	mg/L	7.62 ± 0.07	7.49 ± 0.06	6.70 ± 0.02	6.24 ± 0.25	6.03 ± 0.51	4.98 ± 0.77
Potencial REDOX (ORP)	mV	18.00 ± 8.20	58.43 ± 3.43	68.00 ± 7.11	98.90 ± 13.60	107.13 ± 9.05	100.93 ± 10.20
Temperatura	°C	4.96 ± 0.01	6.04 ± 0.06	7.71 ± 0.02	8.67 ± 0.02	14.98 ± 0.78	12.07 ± 0.04
Presión	mmHg	485.27 ± 0.05	501.80 ± 0.08	512,13 ± 0.12	516.57 ± 0.12	517.00 ± 0.24	518.73 ± 0.09
Sólidos disueltos totales	mg/L	38.67 ± 0.00	37.33 ± 0.46	38.00 ± 0.00	38.00 ± 0.00	38.33 ± 0.47	38.33 ± 0.47

3.1.1.1 Turbidez, pH y temperatura

La toma de muestras se realizó durante una época de llovizna, lo cual indicó la presencia de precipitaciones a lo largo del recorrido. Conforme avanzaba el camino, la temperatura del lugar aumentaba debido a las bajas temperaturas características de la zona inicial de la montaña hasta el punto de la comunidad. En consecuencia, el agua presentaba una temperatura baja de aproximadamente 4.96 °C, siendo la temperatura más alta registrada en la casa comunal de la zona central de la comunidad de Misquilli, alcanzando los 14,98 °C (**Arcentales-Ríos et al., 2022**).

En cuanto al pH del agua, se observó que no variaba significativamente en los distintos puntos de muestreo, oscilando entre 7.46 y 7.84 lo cual se encuentra dentro del rango permitido por las normas INEN 1108-2014 y TULSMA. Se considera que este rango es óptimo y no afecta la calidad o seguridad del agua, garantizando una correcta desinfección con cloro y niveles de corrosión metálica más bajos (**Arcentales-Ríos et al., 2022**).

En relación con la turbidez, se determinó que estaba por debajo de los límites establecidos por las estrictas normas del Ecuador para este tipo de agua. Aunque se reconoce que la turbidez puede tener un impacto en el aspecto estético, no se registraron irregularidades en este parámetro, lo que significa que no afecta la apariencia ni la aceptabilidad del agua potable para los consumidores (**Arcentales-Ríos et al., 2022**).

3.1.1.2 Determinación de oxígeno disuelto

Según la Norma TULSMA, se establece que el nivel de oxígeno disuelto debe ser superior al 75%, tal como se muestra en la Tabla 8. Sin embargo, en el punto F se encontró que el valor es inferior, registrando un valor de 68,20, pero como se trata de

agua potable ya no se fundamentaría en esta norma. Sin embargo, en la norma INEN 1108-2014 no establece un valor límite para este parámetro. La concentración de oxígeno disuelto está influenciada por la temperatura, sólidos disueltos totales, la presión y la concentración de salinidad. En este caso, debido al muestreo realizado, se observó que la temperatura variaba entre 4 °C y 14 °C. A medida que la temperatura aumenta, el flujo de agua disminuye, lo que a su vez conduce a una disminución en el oxígeno disuelto. Por otro lado, en los otros puntos de muestreo se cumplió con el límite de detección establecido (**Arcentales-Ríos et al., 2022**).

3.1.1.3 Potencial REDOX (ORP)

A diferencia de los parámetros anteriores, en el caso de Ecuador no se ha establecido un límite permisible específico. Sin embargo, es de gran importancia detectar el ORP debido a su relación directa con el oxígeno disuelto. A medida que aumenta la densidad microbiana, tanto el ORP como el oxígeno disuelto tienden a disminuir. Esto se debe a que las altas densidades microbianas agotan los iones y las moléculas que son esenciales para la nutrición de los microorganismos. En el punto A, se observó una presencia significativamente mayor de densidades microbianas en comparación con los otros puntos, lo cual se refleja en un nivel más bajo de ORP (**Campaña et al., 2017**).

3.1.2 Detección de coliformes fecales

Las bacterias coliformes fecales son un indicador de contaminación por aguas residuales, y su presencia suele asociarse con heces humanas y animales. Estas bacterias pueden encontrarse en cantidades significativas en el agua y pueden indicar la presencia de organismos causantes de enfermedades como fiebre tifoidea, hepatitis, gastroenteritis, disentería e infecciones. La reducción de las bacterias coliformes fecales se puede lograr a través de tratamientos que involucran el uso de cloro y otros productos químicos (**Ríos-Tobón et al., 2017**).

Tabla 9. Resultados en UFC/100mL de coliformes fecales en muestras de agua.

Puntos	Unidades	Coliformes fecales	Norma TULSMA	Norma NTE INEN 1108-2014
PA	UFC/100 mL	$2 \times 10^2 \pm 1,41 \times 10^2$	1×10^3 NMP/100 mL	<1 UFC/100 mL (ausencia)
PB		$8.5 \times 10^1 \pm 6.5 \times 10^1$		
PC		$1.5 \times 10^1 \pm 1.8 \times 10^1$		
PD		ND		
PE		ND		
PF		ND		

Nota: ND – No Detectable

Los resultados para los Coliformes Fecales (CF) se cuantificaron mediante la presencia de bacterias que exhibieron una coloración azul, indicativa de su actividad fermentativa. Esto se logró acidificando el medio nutricional m-FC ácido risólico e inhibiendo la proliferación de bacterias Gram positivas (**Larrea et al., 2012**). El estudio realizado reveló que los tres primeros puntos analizados mostraron contaminación fecal, aunque no excedieron los límites de detección establecidos por la norma de TULSMA en el punto A y B. Sin embargo, en el punto C si se obtuvo un exceso en la norma INEN 1108-2014 haciendo referencia a la falta de cloro libre que no se registró. En contraste, en los tres puntos posteriores al tratamiento de desinfección, no se detectaron colonias de coliformes fecales. Esto implica que el proceso de cloración implementado en el área ha obtenido resultados óptimos, lo que permite considerar el agua tratada como potable y apta para el consumo humano (**García et al., 2022**).

Tabla 10. Resultados del análisis en el laboratorio realizado de los parámetros fisicoquímicos en las aguas superficiales

Parámetros	Unidades	PA	PB	PC	PD	PE	PF	TULSMA	INEN 1108-2014
DQO	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<4	-
DBO ₅	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	<2	-
Amonio	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	0.63 ± 0.05	-	0.05
Nitrato	mg/L	0.89 ± 0.00	0.62 ± 0.01	ND	ND	ND	ND	50	50
Nitrito	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.2	3
Cloro libre	mg/L	ND	ND	0.04 ± 0.00	ND	0.05 ± 0.00	0.03 ± 0.00	-	0.3 a 1.5
Cloruros	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	250	-
Sulfatos	mg/L	ND	ND	ND	ND	13.00 ± 0.00	9.00 ± 0.00	500	-
Fluoruro	mg/L	0.57 ± 0.05	1.20 ± 0.00	ND	1.40 ± 0.00	3.77 ± 0.00	4.20 ± 0.00	1.5	1.5
Bromo	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
Fosfatos	mg/L	0.73 ± 0.00	0.13 ± 0.00	0.08 ± 0.00	0.14 ± 0.00	1.32 ± 0.00	0.23 ± 0.00	-	-
Manganeso	mg/L	1.00 ± 0.00	0.5 ± 0.00	0.4 ± 0.00	0.5 ± 0.00	1.00 ± 0.00	0.4 ± 0.00	-	-
Hierro	mg/L	ND	ND	0.08 ± 0.00	0.06 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.08 ± 0.00	1	-

Nota: ND – No Detectable, fuera del rango de precisión.

Se registró una presencia mínima de nitratos, hierro, nitritos, cloruros, fosfatos, bromo y sulfatos en los puntos de muestreo. Esta situación podría atribuirse a la falta de contaminación por compuestos químicos y orgánicos, ya que no se observó una actividad agrícola intensiva en ninguno de los sitios de muestreo **(Bolaños et al., 2017)**. Por lo tanto, se puede descartar la presencia de un problema de eutrofización en el área analizada. En cuanto, al amonio excede los límites permisibles de la norma de INEN 1108-2014 en el punto F, teniendo así posible presencia de contaminación. Puede deberse a las actividades humanas o procesos naturales, como la descomposición de maría orgánica o el uso de fertilizantes **(Schullehner et al., 2017)**.

Por otra parte, las mediciones obtenidas de la DQO no se detectaron en ninguno de los puntos analizados por el método fotométrico HANNA; por lo tanto, todas las mediciones se encontraron dentro del criterio de calidad del TULSMA. Además, Si no hay DQO (Demanda Química de Oxígeno) presente en el agua potable, significa que tampoco habrá DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) **(Velasteguí, 2018)**. La DQO y la DBO son parámetros relacionados que miden la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica en el agua. La DQO representa la cantidad total de oxígeno necesaria para oxidar químicamente las sustancias orgánicas e inorgánicas del agua, mientras que la DBO mide específicamente el oxígeno consumido por los microorganismos durante la degradación biológica de la materia orgánica **(Saavedra, 2017)**. Si no hay DQO presente, indica que hay una concentración mínima de materia orgánica oxidable en el agua, lo que también significa que no se producirá una degradación biológica significativa. Por lo tanto, en ausencia de DQO, no habría DBO medible en el agua potable **(Cercano & Zande, 2019)**.

En cuanto, a la evaluación de los criterios del cloro libre, se observó que no se cumplen con los límites de detección establecidos por la norma INEN 1108-2014 en los puntos C, D E y F que son agua tratada. Debido a que, no se detectó la presencia de este parámetro, se concluye que el tratamiento de desinfección no estaría cumpliendo con el propósito de protección del agua **(Iñiguez et al., 2022)**. Por lo

cual, la intención del cloro como desinfectante es eliminar bacterias, virus y ciertos parásitos que podrían transmitirse a través del agua. En esta zona, el método de desinfección utilizado implica el uso de dos tabletas de cloro concentrado en una bomba de desplazamiento positivo **(Huamani, 2023)**.

Como resultado de este tratamiento de cloración, no se encontró presencia de coliformes fecales posterior al proceso. No obstante, se debe tener en cuenta que existe un riesgo potencial de contaminación durante el transporte del punto de desinfección hasta el punto de consumo. Por lo tanto, es importante realizar un seguimiento de los residuos de cloro para asegurar que se esté llevando a cabo un tratamiento adecuado y garantizar un consumo seguro del agua **(Huamani, 2023)**.

En cuanto al fluoruro, se ha observado que en los puntos E y F los niveles superan los límites establecidos por las normas INEN 1108-2014 y TULSMA, registrando valores mayores a 1.5 mg/L de F. Estas concentraciones elevadas pueden tener efectos adversos, como la decoloración oscura de los dientes, y cuando la concentración es mayor a 4.0 mg/L de F⁻, aumenta la posibilidad de sufrir repercusiones graves para la salud **(Gutiérrez & Alarcón-Herrera, 2022)**.

La presencia de fluoruro en estas concentraciones puede atribuirse a diversos factores. Este elemento se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, presente en suelos, rocas, desechos industriales y en el alcantarillado debido a la descarga de aguas residuales domésticas **(Diez et al., 2019)**. Durante las lluvias, los fluoruros se disuelven en el agua y pueden contaminar las fuentes subterráneas. Además de la fuente de origen, se ha observado que varios factores están asociados con la concentración de fluoruros en áreas de fluorosis endémica, como la temperatura, la alcalinidad, los sólidos disueltos totales (SDT), la relación molar Ca/Na, la profundidad del pozo y el clima árido **(Meléndez et al., 2019)**.

En relación con el bromo, no existe una norma específica en Ecuador que establezca el límite de detección permitido en el agua. Sin embargo, este elemento está

relacionado con la producción de trihalometanos (THMs). Los THMs son subproductos que se forman como resultado de la reacción entre el cloro residual presente en el agua y la materia orgánica natural. La determinación de los THMs es de especial interés en la gestión del recurso hídrico debido a los riesgos toxicológicos asociados a la función reproductiva y la posibilidad de desarrollar cáncer (**Saldaña & Franco, 2022**).

Es importante destacar que a medida que aumenta la concentración de bromo, se incrementa la producción de THMs. Sin embargo, en el análisis de las aguas evaluadas no se encontraron concentraciones elevadas de THMs. Aunque no hay un límite establecido para el bromo en particular, es relevante monitorear su presencia debido a su influencia en la formación de estos subproductos y los riesgos asociados a ellos (**Borda et al., 2020**).

El manganeso no se encuentra especificado en la tabla de criterios de la normativa ecuatoriana. Sin embargo, en otros países como en la Resolución 2115 de 2007 en Bogotá se establece un límite de 0,1 mg/L para agua potable (**Reyes, 2019**). En las muestras analizadas, los niveles de manganeso superan este límite permisible. Esta situación puede atribuirse a la presencia de precipitaciones registradas durante el día de muestreo, ya que la intensidad de lluvia puede aumentar la escorrentía y, por ende, la concentración de manganeso en el agua (**Quintana & Ríos, 2019**).

3.1.3 Detección de metales pesados

La tabla 11 muestra que los valores de Cr, As, Pb, Zn, Ni Cr⁶⁺ y Cu hallados en el agua, se encuentran por debajo de los criterios de calidad; lo que supone una menor disponibilidad de estos metales para el medio acuático; sin embargo, la cantidad de Cd sobrepasaron los criterios de calidad, posiblemente debido a la presencia de tuberías o equipos de plomería corridos que liberan estos elementos en el agua, o la infiltración de aguas subterráneas contaminadas (**Castillo, 2019**).

Tabla 11. Resultados del análisis en el laboratorio realizado de los metales pesados en aguas superficiales

Parámetros	Unidades	PA	PB	PC	PD	PE	PF	TULSMA	INEN 1108
Cromo	mg/L	0.005 ± 0.00	0.006 ± 0.00	0.004 ± 0.00	0.005 ± 0.00	0.001 ± 0.00	0.001 ± 0.00	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.05	-
Arsénico	mg/L	ND	ND	0,009	ND	ND	ND	0.1	0.01
Plomo	mg/L	0.005 ± 0.00	0.004 ± 0.00	0.004 ± 0.00	0.007 ± 0.00	0.002 ± 0.00	0.003 ± 0.00	0.01	0.01
Níquel	mg/L	ND	0.022 ± 0.00	ND	0.000 ± 0.00	0.020 ± 0.00	0.019 ± 0.00	-	0.07
Cadmio	mg/L	0.002 ± 1.50	ND	ND	0.0046 ± 0.00	0.0032 ± 0.00	ND	0.02	0.003
Cobre	mg/L	0.09 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.12 ± 0.00	0.37 ± 0.38	2	2
Zinc	mg/L	0.09 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.12 ± 0.00	5	-

Nota: ND – No Detectable

En el caso, del cadmio no se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma en el punto D y E, esto se atribuye a diversas fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Entre las fuentes naturales se encuentran la actividad volcánica, los incendios forestales y el transporte atmosférico de partículas de suelo (**Benítez et al., 2020**). El cadmio también puede ser liberado al medio ambiente debido a actividades humanas, como la minería, la fundición de metales, el uso de fertilizantes fosfatados, la producción de hierro y acero, la quema de combustibles fósiles, así como la fabricación de baterías, pigmentos, cemento y plásticos (**Castillo, 2019**).

Una vez que el cadmio se encuentra en el agua, puede persistir durante períodos prolongados y acumularse en los sedimentos. La exposición al cadmio a través del consumo de agua contaminada puede tener efectos perjudiciales para la salud humana. El cadmio es considerado un metal tóxico y puede causar daño renal, trastornos digestivos y daño hepático y renal en niveles altos de exposición (**Aveiga et al., 2022**).

3.1.4 Detección de la composición química del agua

Se realizó un análisis químico del agua en el área de Misquilli utilizando el diagrama de Piper, una herramienta gráfica ampliamente utilizada para interpretar las concentraciones de aniones y cationes de forma simultánea. Este diagrama permite representar de manera clara y sin confusiones los resultados de múltiples análisis químicos. Las aguas con características geoquímicas similares se agrupan en áreas definidas en el gráfico (**Pauta et al., 2021**).

El diagrama de Piper consiste en dos triángulos equiláteros que representan los cationes y aniones mayoritarios. Los vértices del triángulo de cationes corresponden a Ca^{2+} , Mg^{2+} y $\text{Na}+\text{K}^+$, mientras que los vértices del triángulo de aniones representan SO_4^{-2} , Cl^- y HCO_3^- (**Molina et al., 2023**). Los datos de los análisis químicos se proyectan en un rombo central que muestra la composición del agua determinada a partir de los aniones y cationes. Las concentraciones de los iones, expresadas en meq/l (Tabla 12), se representan como

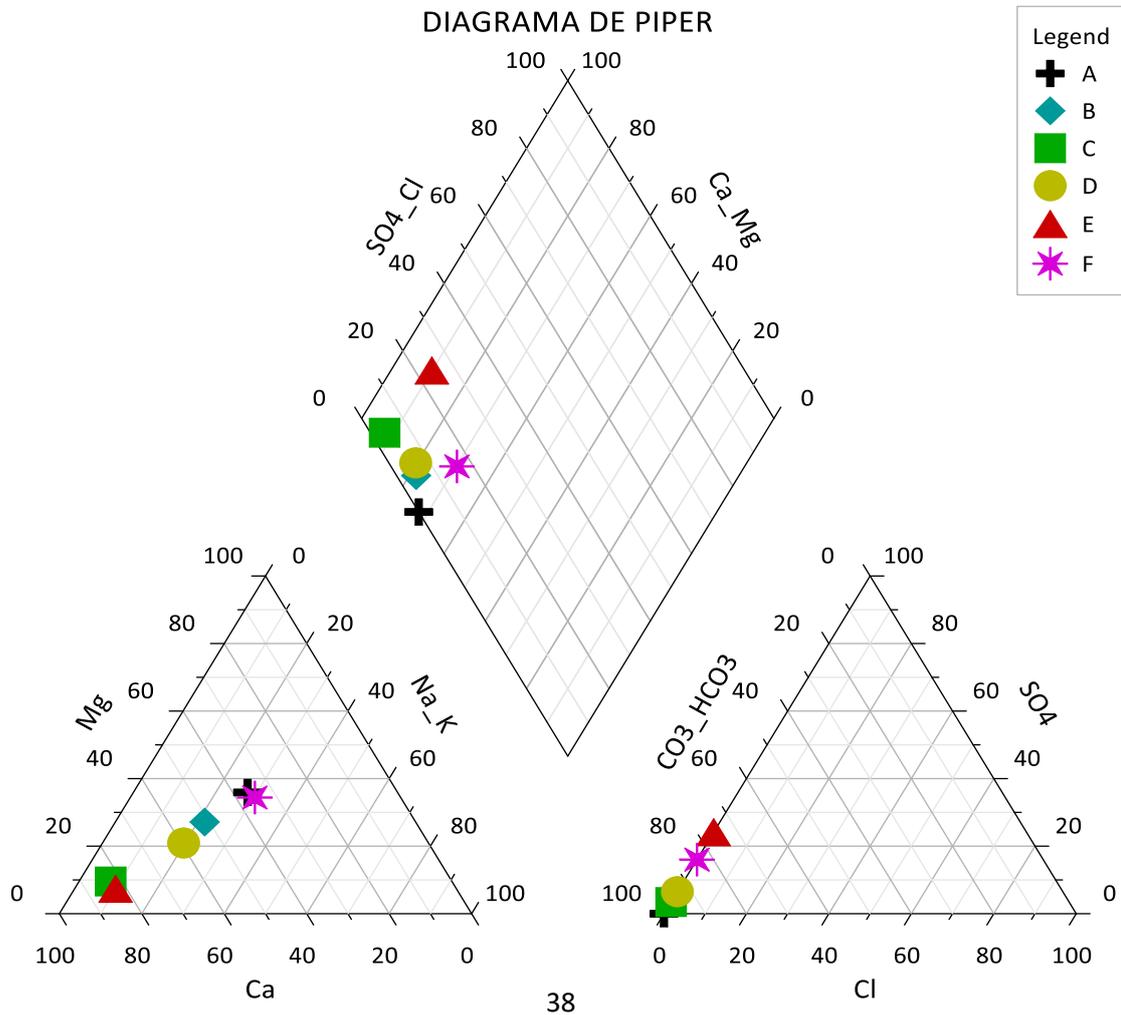
porcentajes con relación a la suma total de aniones y cationes. Cada triángulo del diagrama incluye únicamente tres aniones y tres cationes, y cada vértice se corresponde con el 100% de un anión o catión específico (Chapoñan, 2022).

Tabla 12. Concentraciones de los aniones y cationes del agua en meq/L

Muestras	Unidades	Ca ²⁺	Na + K	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃
A	meq/L	0.42	0.32	0.41	0.00	0.00	0.00
B	meq/L	6.20	2.63	3.29	0.00	0.04	0.84
C	meq/L	10.70	0.99	1.23	0.00	0.05	1.36
D	meq/L	5.45	1.81	1.92	0.00	0.08	1.20
E	meq/L	4.62	0.56	0.41	0.00	0.27	0.85
F	meq/L	3.38	2.89	3.29	0.00	0.19	0.98

Figura 3

Composición química del agua por medio del diagrama de Piper.



La posición de los puntos de datos dentro del rombo central en el diagrama de Piper revela la composición del agua analizada. En el caso de un agua bicarbonatada, cálcica y magnésica, los puntos se ubicarían en la parte izquierda del rombo central, tal como se muestra en la gráfica, lo que indica la predominancia de ciertos aniones y cationes en el agua **(Melo & Carol, 2020)**.

Cuando se clasifica como agua bicarbonatada, esto implica que el ion bicarbonato (HCO_3^-) es uno de los principales aniones presentes en el agua. Esta característica sugiere que el agua tiene un contenido moderado a alto de alcalinidad y puede estar relacionada con la presencia de minerales carbonatados **(Melo & Carol, 2020)**. El término "cálcica" se refiere a la predominancia del catión calcio (Ca^{2+}), lo que indica que el agua tiene una concentración relativamente alta de calcio. El calcio en el agua puede originarse a partir de la disolución de minerales como el carbonato de calcio (calcita) o el sulfato de calcio (yeso). Por otro lado, si el agua se describe como "magnésica", significa que el catión magnesio (Mg^{2+}) es el componente predominante, lo que indica una concentración relativamente alta de magnesio en el agua. El magnesio puede provenir de la disolución de minerales como la calcita o la dolomita **(Sánchez et al., 2020)**.

En resumen, la posición de los puntos dentro del rombo central en el diagrama de Piper permite identificar características específicas del agua, como su contenido bicarbonatado, cálcico y magnésico. Estas características están relacionadas con la alcalinidad, mientras que el calcio y magnesio están asociados con la dureza del agua **(Sánchez et al., 2020)**. Se debe tener en cuenta que el agua dura tiende a dejar residuos o depósitos minerales en las superficies con las que entra en contacto, como tuberías, grifos, calderas y electrodomésticos. Estos depósitos pueden obstruir las tuberías, reducir la eficiencia de los electrodomésticos y disminuir la vida útil de los equipos. Por lo tanto, no es perjudicial para la salud humana, pero si causa problemas en términos de eficiencia y comodidad **(Apaza, 2020)**.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En general, la calidad del agua evaluada en los puntos de muestreo es aceptable según los parámetros fisicoquímicos analizados. El pH se encuentra dentro del rango permitido por las normas, lo que garantiza una correcta desinfección con cloro y niveles bajos de corrosión metálica. La turbidez está por debajo de los límites establecidos y no afecta la apariencia ni la aceptabilidad del agua potable. Sin embargo, se observó una concentración de amonio en el punto F, lo que indica posible contaminación y la necesidad de investigar su origen.
- Se encontró un déficit en el tratamiento de desinfección, debido a que se registró mínimas cantidades de cloro libre por lo cual no se encuentra dentro del rango de la norma de INEN 1108-2014. Por lo tanto, no estaría cumpliendo con los requerimientos de protección de agua. Además, el fluoruro también excedió el límite permitido en dos puntos específicos, trayendo consigo efectos negativos hacia los consumidores.
- Se encontraron concentraciones en exceso del cadmio en algunos puntos de muestreo como es el D y E, superando los límites establecidos. Este metal puede provenir de fuentes naturales o actividades humanas. Es importante investigar las fuentes específicas de contaminación y tomar medidas para reducir la presencia de este metal en el agua potable, ya que pueden tener efectos perjudiciales para la salud humana.
- Se detectó contaminación fecal en los primeros tres puntos de muestreo, aunque no superaron los límites establecidos según la norma de TULSMA. Sin embargo, en el punto C se evaluó a partir de la norma INEN 1108-2014 correspondiente al agua potable, registrando la presencia de colonias. Los puntos posteriores al tratamiento de desinfección no se detectaron colonias de coliformes fecales. Esto indica que el proceso de cloración implementado ha sido efectivo en la eliminación de estas

bacterias. Es importante asegurar un transporte adecuado del agua tratada para evitar una posible contaminación posterior.

- El análisis químico del agua muestra que tiene características bicarbonatadas, cálcicas y magnésicas. Esto implica la presencia de bicarbonato, calcio y magnesio en el agua. Es importante considerar estas características al diseñar procesos de tratamiento y controlar la calidad del agua.

4.2 Recomendaciones

- Es esencial tener en cuenta tanto la cantidad de cloro utilizada durante el proceso de desinfección como el momento preciso de su administración. Estas medidas son cruciales para prevenir la contaminación y garantizar un servicio de agua de la más alta calidad.
- Se recomienda tomar medidas para mejorar la calidad del agua, como el uso de tratamientos adecuados, monitoreo continuo de los parámetros y acciones para reducir la contaminación en las fuentes de agua. Además, se sugiere realizar análisis periódicos y mantener una supervisión constante para garantizar un suministro de agua potable seguro y de calidad para la comunidad de Misquilli.

Bibliografía:

- Apaza, T. (2020). *Evaluación de arsénico, dureza, coliformes termotolerantes y E. coli en aguas subterráneas, de las urbanizaciones de Santa Adriana y Niño San Salvador, del distrito de Juliaca, Puno 2019*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3526>
- Arcentales-Ríos, R., Carrión-Méndez, A., Cipriani-Ávila, I., Acosta, S., Capparelli, M., Moulatlet, G. M., & Pinos-Vélez, V. (2022). Assessment of metals, emerging contaminants, and physicochemical characteristics in the drinking water and wastewater of Cuenca, Ecuador. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2, 100030. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100030>
- Aveiga, A., Banchón, C., Mendoza, L., & Calderón, J. (2022). *Distribución de metales pesados en agua, sedimentos y peces del río Carrizal, Ecuador*. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v43n3/1680-0338-riha-43-03-13.pdf>
- Baxter, T. (2017). *Total Solids by Gravimetric Determination*. https://www.cfnns.nau.edu/~teb/amb1/sop/SOP_AMBL_105A_TotalSolids.pdf
- Benel, D. (2023). *Tratamiento alternativo con biomasa vegetal para disminuir la concentración de arsénico en agua subterránea utilizada como agua potable en el distrito de Mórrope*. [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/11495/Benel_Fern% c3% a1 ndez_Doyle_Isabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/11495/Benel_Fern%c3%a1ndez_Doyle_Isabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Benítez, P., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión*. <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v14n27/1909-8367-ecei-14-27-9.pdf>
- Biasi, A., Messina, G., & Gómez, N. (2021). *Zinc determination in river and tap water samples of San Luis province and bottled waters*. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Bolaños, J. D., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología En Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>

- Borda, O., Guerrero, A., Moreno, A., & Ayala, L. (2020). *DE COGUA-ZIPAQUIRÁ, COLOMBIA: UN ESTUDIO DE LAS CAUSAS Y EFECTOS*. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/6072/WORK%20IN%20PROGRESS.docx.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Campaña, A., Gualoto, E., & Chiluisa, V. (2017). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito metropolitano de Quito. *Bionatura*, 2(2), 299–304. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.02.6>
- Castillo, J. (2019). *Aportes analíticos al estudio de aguas residuales y potables*. <http://www.repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/3627>
- Cercano, J., & Zande, J. (2019). *Evaluación del comportamiento de la DBO y DQO en el agua residual domestica usando un humedal artificial de flujo subsuperficial con lecho de zeolita*. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2703/1/T-ULVR-2501.pdf>
- Chapoñan, J. (2022). *Caracterización hidrogeoquímica de aguas subterráneas en el distrito de Jayanca (Perú)*. <https://orcid.org/0000-0002-3707-5503>
- Cuéllar, L., Maldonado, G., & Cepeda, Y. (2017). *Calidad del agua para el consumo humano Quality of the water supplied for human consumption*. <http://www.revepidemiologia.sld.cu/index.php/hie/index58>
- Delgado, R. (2023). *Uso de dióxido de cloro como biocida en el tratamiento de aguas contaminadas para consumo humano en zonas rurales*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/30396/1/UCE-FCQ-CQ-DELGADO%20SARZOSA%20RUTH%20PAMELA.pdf>
- Díaz, S., & González, J. (2022). La importancia de la temperatura del agua en las redes de abastecimiento. *Ingeniería Del Agua*, 26(2), 107–123. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17366>
- Diez, D., López, M., Colmán, D., González, C., Navarro, N., Morínigo, M., Araujo, S., Cáceres, A., Pizzurno, J., & Yubero, F. (2019). Concentración de fluoruro en agua subterránea y su relación con los niveles de calcio sérico en niños residentes en el distrito de Loreto,

- Concepción, Paraguay. *Memorias Del Instituto de Investigaciones En Ciencias de La Salud*, 17(2), 24–35. <https://doi.org/10.18004/mem.iics/1812-9528/2019.017.02.24-035>
- Dunán, P. L., Fernández, M., Riverón, A. B., & Bassas, P. R. (2021). Evaluación del contenido de metales pesados en las aguas del Río Yamanigüey. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 315–321. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19444>
- García, O., Solano, M., & Ramírez, A. (2022). *Determinación por métodos tradicionales y rápidos de Coliformes y Pseudomonas spp. en agua potable de uso intradomiciliario en el Área Metropolitana de Guadalajara*. <https://actadecienciaensalud.cutonala.udg.mx/index.php/ACS/article/view/188>
- Gong, Z., Chan, H. T., Chen, Q., & Chen, H. (2021). Application of nanotechnology in analysis and removal of heavy metals in food and water resources. *Nanomaterials*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/nano11071792>
- González, S., Lopez-Roldan, R., & Cortina, J. L. (2013). Presence of metals in drinking water distribution networks due to pipe material leaching: A review. In *Toxicological and Environmental Chemistry* (Vol. 95, Issue 6, pp. 870–889). <https://doi.org/10.1080/02772248.2013.840372>
- Guachamin, S. (2021). *Estudio de la influencia de las fuentes antropogénicas sobre la calidad del agua de la cuenca media y baja del río Ambato*. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32090>
- Gutiérrez, M., & Alarcón-Herrera, M. T. (2022). Fluoride in groundwater in the north-central region of Mexico and its possible origin. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 38, 389–397. <https://doi.org/10.20937/RICA.54307>
- Hanna instruments. (2022). *Manual de instrucciones / HANNA instruments*. Manuales y Hojas de Seguridad. <https://hannainst.ec/descargas/?q=HI%2083399&catid=265&limit=60>
- Habibollahi, M. H., Karimyan, K., Arfaenia, H., Mirzaei, N., Safari, Y., Akramipour, R., Sharafi, H., & Fattahi, N. (2019). Extraction and determination of heavy metals in soil and vegetables irrigated with treated municipal wastewater using new mode of dispersive liquid–liquid microextraction based on the solidified deep eutectic solvent followed by

GFAAS. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 656–665.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.9230>

Huaman, L. (2019). *Evaluación del nivel de contaminación por metales pesados en la población infantil del centro poblado de Paragsha para determinar la incidencia probable de la exposición ambiental frente a las sustancias producidas por la actividad minera - Distrito de Simón Bolívar- Cerro de Pasco – 2018*.
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1663/1/T026_45157188_T.pdf

Huamani, L. (2023). Concentración residual de cloro libre en el agua de consumo humano y frecuencia de tratamiento de parasitosis intestinal en niños peruanos: subanálisis ENDES 2017-2021. 2023.
http://190.12.84.13:8080/bitstream/handle/20.500.13084/7008/UNFV_FMHU_Huamani_Colquichagua_Lucy_Yanela_Titulo_profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Iñiguez, L., Anaya, L., Castañeda, A., & Martínez, F. (2022). *Calidad microbiológica del agua potable utilizada en escuelas públicas de la ciudad de Tepatlán, Jalisco*.
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icap/article/view/7958/8718>

Jiménez, M. F. S., & Olvera-Balderas, D. (2019). Potentially toxic elements (Cd, hg, pb and zn) in impacted soils by recycling lead plant (zacatecas, mexico), a decade after stopping operations. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 651–669.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.11>

Larrea, J., Rojas, M., Álvarez, B., & Rojas, N. (2012). *Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura*.
<https://www.redalyc.org/pdf/1812/181229302004.pdf>

Luvhimbi, N., Tshitangano, T. G., Mabunda, J. T., Olaniyi, F. C., & Edokpayi, J. N. (2022). Water quality assessment and evaluation of human health risk of drinking water from source to point of use at Thulamela municipality, Limpopo Province. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10092-4>

Meléndez, C., Rodríguez, O., López, D., & Molina, D. (2019). *Análisis de la concentración de fluoruro en agua potable de la ciudad de Torreón*.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/tame/tam-2019/tam1921f.pdf>

- Melo, M., & Carol, E. (2020). Variaciones geomorfológicas como condicionantes de la química del agua subterránea en el litoral del estuario medio del Río de la Plata. *Revista Del Museo de La Plata*, 5(2), 475–485. <https://doi.org/10.24215/25456377e120>
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E., & Egas, F. (2019). Concentration of cadmium in water, sediments, eichhornia crassipes and pomacea canaliculata in the Guayas (Ecuador) river and tributaries. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(3), 623–640. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.09>
- Molina, L. J., Rivera, M. E., Delgado, J. R., & Cajiao, Á. M. (2023). Calidad del agua termal en los municipios de Bochalema y Chinácota, Colombia. *Boletín de Geología*, 45(2). <https://doi.org/10.18273/revbol.v45n2-2023004>
- Motlagh, A. M., & Yang, Z. (2019). Detection and occurrence of indicator organisms and pathogens. In *Water Environment Research* (Vol. 91, Issue 10, pp. 1402–1408). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/wer.1238>
- NTE INEN 1108. (2011). Agua Calidad del Agua, Muestreo, Diseño de los programas de muestreo (Primera edición).
- Pájaro, N., Maldonado, W., Pérez, N., & Díaz, J. (2017). *Revisión de las implicaciones ocupacionales por exposición al plomo*. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/58/63
- Pauta, G., Velasco, M., Vázquez, G., Abril, A., & Torres, S. (2021). *Analysis and risk assessment of arsenic in the water sources of the cities Cuenca and Azogues, Ecuador*. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/3797/2852>
- Pérez, L., Espinoza, C., & Espinoza, G. (2022). Determinación de metales pesados en agua para consumo humano de la ciudad de Junín. *Prospectiva Universitaria*, 18(1), 51–56. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2021.18.1416>
- Pérez, R. (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial*. <https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-PARROQUIA-SANTA-ROSA-2015-2019.pdf>

- Proaño, K. (2022). *Los organismos indicadores de microorganismos en el agua, como bacterias y virus, son utilizados para evaluar la presencia de patógenos. Es fundamental que estos microorganismos indicadores no sean patógenos, es decir, que no provoquen enfermedades, y que sean detectables de manera confiable incluso en bajas concentraciones o con un crecimiento mínimo.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23586/1/UPS-CT010129.pdf>
- Quintana, R., & Ríos, J. (2019). *Remoción de manganeso en la planta de tratamiento de agua potable de Tocancipá (Cundinamarca).* <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>
- Rahman, A., Jahanara, I., & Jolly, Y. N. (2021). Assessment of physicochemical properties of water and their seasonal variation in an urban river in Bangladesh. *Water Science and Engineering*, 14(2), 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2021.06.006>
- Rehman, K., Fatima, F., Waheed, I., & Akash, M. S. H. (2018). Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. *Journal of Cellular Biochemistry*, 119(1), 157–184. <https://doi.org/10.1002/jcb.26234>
- Reyes, M. (2019). *Análisis de la presencia de metales en la red de distribución de agua potable de la ciudad de Bogotá D.C.* <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/45617/u827774.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rice, E. W., Berger, P. S., Clark, J. A., Edberg, S. C., Garthright, W. E., Hall, N. H., Lin, S., & Berger, S. (2018). *MULTIPLE-TUBE FERMENTATION TECHNIQUE FOR MEMBERS OF THE COLIFORM GROUP* 9221 A. Introduction 9-48 MICROBIOLOGICAL EXAMINATION (9000).* <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.192>
- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rueda, F. V., Molano Guarín, A. F., & Pramparo, L. M. (2019). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 17–26. <https://doi.org/10.31908/19098367.1150>

- Saldaña, I., & Franco, H. (2022). *Evaluación de la concentración de compuestos trihalometanos en el agua potable distribuida en la Ciudad David, Panamá y sus riesgos a la salud humana*. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/3554>
- Sánchez, R., Benavides, C., Chaves, M., & Quirós, J. (2020). Calidad del agua para consumo humano en una comunidad rural: caso Corral de Piedra, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i2.4165>
- Saavedra, M. (2017). *Tratamiento de Aguas Residuales en el Camal de Ahuashiyacu*. <https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/2578/1/FIAI%20-%20Merling%20Gronerth%20Saavedra.pdf>
- Schullehner, J., Stayner, L., & Hansen, B. (2017). Nitrate, nitrite, and ammonium variability in drinking water distribution systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph14030276>
- Solís, Y., Zúñiga, L., & Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Spindler, V., & González, J. (2022). *Elementos*. <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000007938.pdf>
- Su, W., Feng, F., Yang, K., Zhou, Y., Zhang, J., & Sun, J. (2022). Water Chemical Characteristics and Safety Assessment of Irrigation Water in the Northern Part of Hulunbeier City, Grassland Area in Eastern China. *Sustainability (Switzerland)*, 14(23). <https://doi.org/10.3390/su142316068>
- Swistock, B. (2022). *Bacterias Coliformes*. <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>
- Terry, B. (2019). *Total Dissolved Solids by Gravimetric Determination*. https://www.cefn.s.nau.edu/~teb/amb1/sop/SOP_AMBL_105B_TotalDissolvedSolids.pdf
- Tapia, L. (2015). *Norma de calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua (No 387)*. Ministerio del Ambiente. https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

- Velastegui, J. (2018). *Calidad del agua para consumo humano en el corredor ecológico ecuatoriano Llanganates-Sangay* *Drinking water quality at the ecuadorian corridor LlanganatesSangay*. <https://core.ac.uk/download/pdf/235987801.pdf>
- Wee, S. Y., Aris, A. Z., Yusoff, F. M., Praveena, S. M., & Harun, R. (2022). Drinking water consumption and association between actual and perceived risks of endocrine disrupting compounds. *Npj Clean Water*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00176-z>
- World Health Organization. (2021). *Nickel in drinking*. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/who-guidelines-for-drinking-water-quality-background-document-nickel-2021_public-review-version-.pdf
- Yaillet, E., & Carvajal, A. (2017). *Determinación de la contaminación por metales pesados en suelos aledaños a la empresa electroquímica de Sagua* (Vol. 44). <http://centrozucar.uclv.edu.cu>

ANEXOS

ANEXO A. Registro Fotográfico de las zonas de muestreo del recorrido del agua desde el punto de origen hasta la comunidad de Misquilli.

Figura 5

Primer punto de muestreo (A) en la zona alta del tanque principal de almacenamiento general del agua



Figura 4

Segundo punto de muestreo (B) en el tanque rompe presión.



Figura 6

Tercer punto de muestreo (C), tanque de cloración.



Figura 7

Cuarto punto de muestreo (D), tanque rompe presión después del tratamiento.



Figura 8

Quinto punto de muestreo (E), casa central en la comunidad de Misquilli.



Figura 9

Sexto punto de muestreo (F), casa del consumidor en la comunidad de Misquilli.



ANEXO B. Etiquetado y codificación de las muestras de agua recolectadas

Figura 10

Etiquetado de muestras



ANEXO C. Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio.

Figura 11

Análisis de coliformes fecales mediante el método de filtración de membrana.

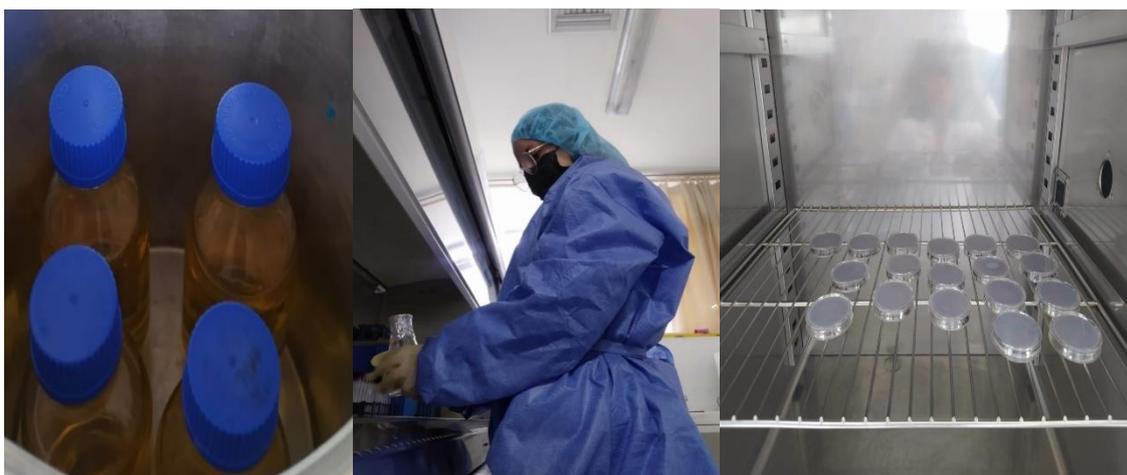


Figura 12

Ilustración de la determinación de coliformes fecales del punto A en la dilución 1/10.

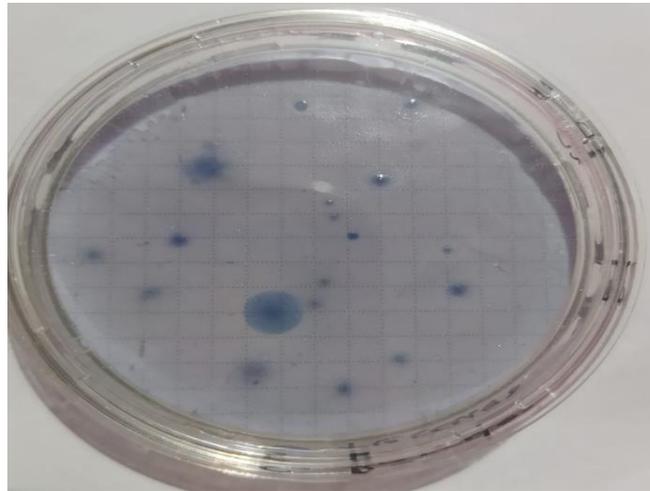


Figura 13

Utilización de fotómetro de HANNA para análisis de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua.



ANEXO D. Criterios de Calidad de fuentes de agua dulce según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014

Tabla 13. *Criterios de Calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, según el Anexo 1 del Libro VI TULSMA y la Norma INEN 1108:2014 de agua potable. Expresados como Unidades de la tabla de TULSMA.*

Parámetro	Expresados como	Unidades	TULSMA	INEN 1108-2014
pH	pH	Unidades de pH	6 -9	-
Oxígeno disuelto	OD	%	<75	-
Turbidez	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	100	-
Coliformes fecales	NPM	NMP/100 mL	1000	1000
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	<4	-
Demanda biológica de oxígeno (5días)	DBO	mg/L	<2	-
Nitrato	NO ₃	mg/L	50	50
Nitrito	NO ₂	mg/L	0,2	3

Arsénico	As	mg/L	0,1	0,01
Cadmio	Cd	mg/L	0,02	0,003
Cobre	Cu	mg/L	2	2
Cromo total	Cr	mg/L	-	0,05
Cromo hexavalente	Cr6+	mg/L	0,05	-
Fluoruro	F	mg/L	1,5	1,5
Plomo	Pb	mg/L	0,01	0,01
Sulfatos	SO4-2	mg/L	500	-
Hidrocarburos totales de petróleo	TDH	mg/L	0,2	-
Cloro libre	Cl	mg/L	-	0,3 - 1, 5
Níquel	Ni	Mg/L	-	0,07