

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**Elaboración de un manual y guía técnica para el manejo de la  
PTAP de las parroquias Rumipamba y Tupigachi.**

**Elaboración de un manual y guía técnica para el manejo de la  
PTAP de la parroquia Rumipamba.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA SUPERIOR  
EN AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL**

**MICAELA ADAMARI FLORES VIERA**

**[micaela.flores@epn.edu.ec](mailto:micaela.flores@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: ANTONY CRISTOFER RAMOS RIVADENEIRA**

**[antony.ramos@epn.edu.ec](mailto:antony.ramos@epn.edu.ec)**

**DMQ, agosto 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Micaela Adamari Flores Viera declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



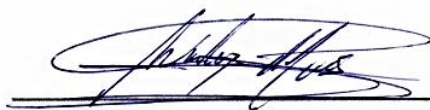
---

**MICAELA ADAMARI FLORES VIERA**

**micaela.flores@epn.edu.ec**

**micahada12@gmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Micaela Adamari Flores Viera, bajo mi supervisión.



---

**ANTONY CRISTOFER RAMOS RIVADENEIRA**

**DIRECTOR**

**antony.ramos@epn.edu.ec**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Micaela Adamari Flores Viera

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi mamá y a mi hermana quienes me acompañaron incondicionalmente durante toda mi etapa universitaria, su presencia constante y apoyo inquebrantable fueron fundamentales para obtener este logro y por estar junto a mí. A mi gatito Yayo por estar siempre a mi lado, especialmente en las madrugadas de estudio. Al grupo Twice que me acompañó con su música durante mucho tiempo. Finalmente, me dedico este trabajo por esforzarme mucho y nunca rendirme.

*-Micaela Flores*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a mi familia, sin su apoyo no habría podido culminar mi carrera, especialmente después de enfrentar desafíos de salud. En particular, agradezco a mi mamá y a mi hermana, por el apoyo inquebrantable durante toda la carrera.

Extiendo mi reconocimiento a los ingenieros de la carrera, el Ing. Eduardo Vásquez, Ing. Santiago Guerra, Ing. Sandra Panchi y, especialmente, a mi tutor, el Ing. Antony Ramos. Su guía fue esencial, no solo en términos académicos, sino también en lecciones de vida, me enseñaron que el esfuerzo, la paciencia y la dedicación son la base para obtener buenos resultados.

No puedo dejar a un lado las mejores amistades que me llevo durante todo mi periodo dentro de la universidad, conocí muchas personas, muchos se quedaron atrás, pero quiero agradecer, a Ambar, Nicole, Jeinson, y Jhonatan que fueron buenos amigos, a Bryan y Edhisson por brindarme ayuda y conocimientos. También quiero agradecer a Alexis y Galo, aunque no son de la carrera como tal, ellos me cuidaron mucho, compartieron conmigo muchas cosas y se volvieron mis grandes amigos.

También quiero expresar mi sincero agradecimiento al equipo de ingenieros del Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM). Su orientación y consejos fueron invaluable para mi formación en el laboratorio, enriqueciendo significativamente mi experiencia académica y práctica.

Aunque quisiera mencionar a más personas, sé que, si llegaron a mi vida, fue por algo y también les quiero agradecer por dejar una huella en mi vida.

Por último, quiero agradecer a los Ingenieros del Agua potable de Rumiñahui por permitirme realizar el proyecto con ellos.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico.....	3
Agua.....	3
Agua para consumo humano.....	3
Fuentes de agua.....	3
Normativa ambiental vigente para el control de la calidad del agua para consumo humano .....	4
Acuerdo Ministerial No. 097-A del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente .....	4
La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, "Agua para consumo humano" .....	5
Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.....	5
Límite permisible para la calidad de agua .....	5
Características del agua.....	5
Características físicas .....	5
Características químicas .....	6
Características biológicas.....	6
Planta de tratamiento de agua potable .....	6
Potabilización de aguas.....	7
Desinfección del agua .....	7

Pretratamiento .....	7
Procesos unitarios de la PTAP .....	8
Aireador .....	8
Coagulación y floculación.....	8
Filtración .....	8
Sedimentación .....	8
Sedimentación primaria.....	9
Sedimentación secundaria .....	9
Tratamiento adicional.....	9
Filtración con carbón activado .....	9
Prueba de jarras .....	9
Dosis óptima para coagulación y floculación.....	9
Cloración .....	10
Hipoclorito de sodio (NaClO).....	10
Hipoclorito de calcio (Ca (ClO) <sub>2</sub> ).....	10
Importancia de los manuales y guías técnicas .....	10
<b>2 METODOLOGÍA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Diagnóstico de la situación actual de la PTAP de la parroquia Rumipamba .....</b>	<b>12</b>
Caracterización del agua.....	12
Parámetros de Análisis .....	13
Determinación del Caudal .....	14
Determinación de Turbidez.....	15
Determinación de Color aparente .....	15
Determinación de alcalinidad y acidez .....	15
Determinación de sólidos totales, disueltos y suspendidos .....	17
Determinación de Hierro total .....	18
Determinación de Nitratos y Nitritos.....	18
Determinación de aluminio .....	19
Determinación de Sulfatos .....	20
Determinación de Nitrógeno amoniacal .....	20
Determinación de Cobre.....	21
Tensoactivos.....	21
Determinación de bario .....	22

Coliformes totales .....	23
Coliformes Fecales .....	23
2.2 Evaluación de los procesos utilizados para la potabilización del agua para proponer métodos de desinfección efectivos y mejorar la calidad del recurso hídrico. ....	25
Prueba de jarras para coagulación y floculación .....	25
Prueba de jarras para desinfección .....	28
2.3 Elaboración del manual y guía técnica que proporcione los procedimientos necesarios para la operación y mantenimiento eficiente de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Rumipamba .....	29
Manual.....	29
Redacción Clara y didáctica .....	29
Elementos visuales .....	30
Revisión Exhaustiva.....	30
Guía técnica.....	30
Recopilación de información.....	31
Definición del alcance y propósito.....	31
Redacción del contenido .....	31
<b>3 RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
3.1 Diagnóstico de la situación actual de la PTAP de la parroquia Rumipamba. ....	32
Resultados de la caracterización del afluente .....	32
3.2 Evaluación de los procesos utilizados para la potabilización del agua para proponer métodos de desinfección efectivos y mejorar la calidad del recurso hídrico .....	34
Localización de la Planta de tratamiento de agua potable “Rumipamba” cantón Rumiñahui. ....	34
Funcionamiento de la PTAP de la parroquia Rumipamba. ....	35
Resultados de la Prueba de jarras coagulación - floculación.....	36
Resultados de la Prueba de jarras para Desinfección .....	42
3.3 Elaboración de un manual y guía técnica que proporcione los procedimientos necesarios para la operación y mantenimiento eficiente de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Rumipamba. ....	48
Representación del manual.....	48
Representación de la guía técnica.....	50
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>5 RECOMENDACIONES .....</b>	<b>53</b>



6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
7	ANEXOS.....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales y Equipos utilizados en el muestreo. ....	12
Tabla 2. Parámetros de análisis de agua cruda para tratamiento. ....	13
Tabla 3. Rango de trabajo para el método SAAM. ....	22
Tabla 4. Índice de NMP para diferentes combinaciones de resultados positivos y negativos con 3 tubos de 10 mL, 3 de 1.0 mL y 3 de 0.1 mL. ....	23
Tabla 5. Índice de Willcomb. ....	27
Tabla 6. Formato del registro de resultados de prueba de jarras. ....	28
Tabla 7. Formato del registro de resultados de prueba de desinfección. ....	29
Tabla 8. Caracterización fisicoquímica y biológica del afluente a la PTAP “Rumipamba”. ....	32
Tabla 9. Resultados de la calidad del afluente para prueba de jarras. ....	34
Tabla 10. Resultados prueba de jarras N°1 coagulación – floculación. ....	36
Tabla 11. Resultados prueba de jarras N°2 coagulación – floculación. ....	38
Tabla 12. Resultados prueba de jarras final coagulación - floculación. ....	41
Tabla 13. Resultados de la Prueba de jarras N°1 Desinfección. ....	43
Tabla 14. Resultados del análisis de cloro de la prueba N° 1. ....	44
Tabla 15. Resultados del análisis de metales de la prueba N°1. ....	44
Tabla 16. Resultados de la Prueba de jarras N°2 Desinfección. ....	45
Tabla 17. Resultados del análisis de cloro de la prueba N° 2. ....	46
Tabla 18. Resultados del análisis de metales de la prueba N°2. ....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Infraestructura de PTAP de “Rumipamba” .....	35
Figura 2. Diagrama de bloques del funcionamiento de la PTAP “Rumipamba”. .....	36
Figura 3. Gráfica comparativa de la primera prueba de jarras.....	38
Figura 4. Gráfica comparativa de la segunda prueba de jarras. ....	40
Figura 5. Gráfica comparativa de la prueba de jarras final. ....	42
Figura 6. Curva obtenida en la prueba de jarras para desinfección N° 1. ....	43
Figura 7. Curva obtenida en la prueba de jarras para desinfección N° 2. ....	46
Figura 8. Portada del Manual de operación.....	49
Figura 9. Contenido del manual. ....	49
Figura 10. Portada de la Guía técnica de la operación y manejo de la PTAP.....	50
Figura 11. Contenido de Guía técnica. ....	51

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Certificado de originalidad Turnitin.....	59
ANEXO II. Informe de laboratorio de resultados de Aceites y Grasas.....	62
ANEXO III. Informe de laboratorio de resultados de Giardia Lamblia.....	63
ANEXO IV. Registro fotográfico de la PTAP .....	64
ANEXO V. Zona de sedimentación secundaria con paneles de sedimentación acelerada. .....	64
ANEXO VI. Zona de sedimentación primaria. ....	64
ANEXO VII. Vista de la Planta de potabilización.....	64
ANEXO VIII. Zona de dosificación de Cloro para desinfección.....	64
ANEXO IX. Punto de Ingreso del Agua de Vertiente.....	64
ANEXO X. Tanques para la preparación de químicos para clarificación.....	64
ANEXO XI. Registro fotográfico de los ensayos de caracterización.....	65
ANEXO XII. Determinación de acidez. ....	65
ANEXO XIII. Determinación de alcalinidad.....	65
ANEXO XIV. Determinación de Nitrógeno amoniacal.....	65
ANEXO XV. Medición de Nitrógeno amoniacal.....	65
ANEXO XVI. Medición de Aluminio del agua cruda. ....	65
ANEXO XVII. Reactivo de para la determinación de aluminio.....	65
ANEXO XVIII. Ensayo de Coliformes Totales. ....	66
ANEXO XIX. Observación de positivos de la prueba presuntiva. ....	66
ANEXO XX. Medición de Hierro ferroso. ....	66
ANEXO XXI. Reactivo Ferro ver para la determinación de hierro ferroso.....	66
ANEXO XXII. Medición de Nitrato del agua cruda. ....	66
ANEXO XXIII. Medición de DQO. ....	66
ANEXO XXIV. Medición de pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad.....	67
ANEXO XXV. Medición de Cobre. ....	67
ANEXO XXVI. Determinación de Sólidos. ....	67
ANEXO XXVII. Medición de Sulfato.....	67
ANEXO XXVIII. Medición de Color de la muestra del proceso de desinfección.....	67
ANEXO XXIX. Medición de Bario del agua cruda. ....	67
ANEXO XXX. Medición de Tensoactivos del agua cruda. ....	68
ANEXO XXXI. Medición de Tensoactivos del agua cruda. ....	68
ANEXO XXXII. Medición de Tensoactivos del agua cruda. ....	68

ANEXO XXXIII. Registro fotográfico de los ensayos de prueba de jarras para coagulación y floculación .....	68
ANEXO XXXIV. Visualización de la formación de flocs de cada jarra. ....	68
ANEXO XXXV. Visualización de la formación de flocs de cada jarra. ....	69
ANEXO XXXVI. Reactivos para pruebas de jarras. ....	69
ANEXO XXXVII. Registro fotográfico de ensayo de prueba de jarras para desinfección. ....	69
ANEXO XXXVIII. Visualización de la diferencia entre la jarra con el agua clarificada y la jarra del agua cruda.....	69
ANEXO XXXIX. Muestra de agua después del proceso de desinfección.....	69
ANEXO XL. Cálculos.....	69
ANEXO XLI. Manual para el manejo de la PTAP de Rumipamba cantón Rumiñahui. ....	70
ANEXO XLII. Guía técnica para el manejo de la PTAP de Rumipamba cantón Rumiñahui. ....	70

## RESUMEN

Este proyecto se enfoca en mejorar la gestión y operación de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en Rumipamba, Rumiñahui, optimizando el tratamiento del agua proveniente del Río Pita. Se realizó un diagnóstico exhaustivo de la PTAP, evaluando parámetros físicos, químicos y biológicos del agua cruda, detectando niveles elevados de bario.

Se llevaron a cabo pruebas de jarras para optimizar los procesos de coagulación, floculación y desinfección. Los resultados mostraron que una combinación específica de coagulante PAC sólido al 30% con 450 mg/L, estabilizador de pH de sosa cáustica con 230 mg/L y floculante catiónico 5 mL/L, la combinación cumplió con todos los límites de calidad establecidos, logrando remociones de turbidez superiores al 84%. Para la prueba de desinfección, se determinaron las dosis óptimas de hipoclorito de sodio y calcio, con 1 y 1.5 mg/L respectivamente, que lograron remover entre 70% y 83% de metales como hierro, bario y aluminio mediante oxidación. Estos tratamientos mantuvieron los parámetros de calidad del agua dentro de los rangos aceptables según la normativa INEN 1108 para agua potabilizada.

Con las dosis óptimas determinadas, se elaboró un manual didáctico y una guía técnica para el manejo de la PTAP. Estos documentos incluyen procesos de operación, mantenimiento, control de calidad, protocolos de seguridad y emergencia, y manejo de reactivos. Los procedimientos operativos estandarizados, basados en pruebas de jarras, buscan optimizar el proceso y asegurar la seguridad del personal. Así, el manual y la guía se convierten en herramientas prácticas y completas para la formación del personal y la operación eficiente de la PTAP.

**PALABRAS CLAVE:** Tratamiento, Desinfección, Coagulación, Floculación, Manual, Guía técnica.

## ABSTRACT

This project focuses on improving the management and operation of the drinking water treatment plant (PTAP) in Rumipamba, Rumiñahui, optimizing the treatment of water from the Pita River. An exhaustive diagnosis of the PTAP was conducted, evaluating the physical, chemical, and biological parameters of the raw water, detecting elevated levels of barium.

Jar tests were carried out to optimize the processes of coagulation, flocculation, and disinfection. The results showed that a specific combination of 30% solid PAC coagulant at 450 mg/L, caustic soda pH stabilizer at 230 mg/L, and cationic flocculant at 5 mL/L met all established quality limits, achieving turbidity removals above 84%. For the disinfection test, optimal doses of sodium and calcium hypochlorite were determined, with 1 and 1.5 mg/L, respectively, achieving between 70% and 83% removal of metals like iron, barium, and aluminum by oxidation. These treatments kept water quality parameters within acceptable ranges according to the INEN 1108 standard for drinking water.

With the optimal doses determined, a didactic manual and a technical guide were developed for managing the PTAP, incorporating key criteria for their development. These documents include processes for operation, maintenance, quality control, safety, emergency protocols, and handling of reagents. The standardized operating procedures, based on jar tests, aim to optimize the process and ensure the safety of personnel. Thus, the manual and the guide become practical and comprehensive tools for the training of current and future personnel and for the efficient and safe operation of the PTAP, focusing on optimizing the process and ensuring personnel safety.

**KEYWORDS:** Treatment, Disinfection, Coagulation, Flocculation, Manual, Technical guide.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) pretenden eliminar impurezas presentes en el líquido vital de manera que se verifique el cumplimiento de los criterios de calidad y el líquido sea idóneo para el consumo de la población. Dentro de las PTAP los procesos típicos utilizados son la coagulación y floculación para la remoción de turbiedad coloidal, la sedimentación para separar los sólidos sedimentables, la filtración para remover la turbiedad remanente, y la desinfección para eliminar los organismos patógenos. Adicionalmente, se puede requerir otros procesos como el ablandamiento, la adsorción en carbón activado, la oxidación, entre otros, dependiendo de la calidad del agua cruda (Romero, 2000, p. 109, 111)

Es esencial que las comunidades adquieran conocimientos fundamentales en cuanto al manejo de las PTAP para evitar interrupciones en el sistema de abastecimiento hídrico y asegurar su funcionamiento continuo. Esto capacitará a los miembros de la comunidad para gestionar de manera efectiva, comprender los aspectos técnicos para proteger las fuentes de agua, operar y mantener los sistemas de manera eficiente, garantizando un suministro de agua de alta calidad y preservando los recursos hídricos para las futuras generaciones (Cabezas, 2021).

La ausencia de una guía técnica adecuada sobre la calidad del agua compromete la capacidad de los encargados de su manejo para proporcionar una provisión de agua segura y adecuada para el consumo humano y su respectiva utilización.

El objetivo principal del proyecto es conseguir que los encargados del manejo de la PTAP de la parroquia Rumipamba, cantón Rumiñahui, puedan contar con ayuda técnica e información clara para gestionar y manejar adecuadamente la PTAP. Esto evitará que la falta de conocimiento perjudique la correcta aplicación de los procesos de desinfección y les permitirá enfrentar las variaciones en cuanto al caudal, turbiedad, contenido de materia orgánica, entre otros, debido a los cambios en las condiciones climáticas en las diferentes épocas del año, ya que se han identificado inconvenientes relacionados con la calidad del líquido que reciben los habitantes. Especialmente en temporadas lluviosas, por la ineficacia de la instalación de tratamiento hídrico para sedimentar adecuadamente, lo que provoca una alta turbidez distribuida.

Es así como el presente proyecto se centra en elaborar un manual y guía técnica que sirva como herramienta que proporcionará a los encargados del manejo a la PTAP de la parroquia Rumipamba cantón Rumiñahui, las directrices y métodos para una desinfección apropiada, así como el manejo correcto de las diferentes operaciones unitarias,



garantizando un suministro de agua potable de alta calidad y cumpliendo con los estándares de salud y seguridad para la comunidad.

## **1.1 Objetivo general**

Elaborar un manual y guía técnica mediante la identificación de necesidades e implementación de procedimientos y protocolos para el manejo de la PTAP de la parroquia de Rumipamba cantón Rumiñahui.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Realizar un diagnóstico del estado actual de la PTAP de la parroquia Rumipamba.
2. Evaluar los procesos utilizados para la potabilización del agua para proponer métodos de desinfección efectivos y mejorar la calidad del recurso hídrico.
3. Elaborar un manual y guía técnica que proporcione los procedimientos necesarios para la operación y mantenimiento eficiente de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Rumipamba

## **1.3 Alcance**

Este proyecto se centró en la creación y desarrollo de un manual y guía técnica para el manejo de la PTAP de la parroquia Rumipamba.

Se diseñará el manual para ser accesible para las personas de la comunidad que están a cargo de las PTAP que no cuentan con una experiencia técnica sobre los métodos de tratamiento de aguas potables. En él se detallarán los pasos clave para asegurar la seguridad y calidad del agua, desde la entrada de agua cruda hasta las etapas del tratamiento, explicando las etapas del proceso de purificación de manera clara y concisa. Se proporcionarán instrucciones paso a paso, acompañadas de diagramas simples y ejemplos prácticos, que facilitarán la comprensión de cada procedimiento. Además, se incluirán recomendaciones de mantenimiento preventivo y medidas de seguridad para garantizar el rendimiento ideal de las instalaciones y la protección de la salud de la población.

La guía técnica para el manejo de las PTAP se orientó al personal técnico y analizará los aspectos operativos y de mantenimiento de las instalaciones. Desde la valoración de la calidad del agua sin tratar hasta la aplicación de técnicas de desinfección y control de calidad del agua tratada; cada fase del tratamiento será examinado en profundidad. Además, se abordarán aspectos regulatorios y normativos aplicables tales como la Norma

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108 Agua Potable Requisitos, garantizando el cumplimiento de las normas de seguridad y calidad establecidos por las autoridades competentes.

## 1.4 Marco teórico

### Agua

Es considerado una necesidad fundamental para el progreso, la salubridad y el bienestar de las sociedades humanas. Conforme aumenta la población, surge una demanda en aumento del consumo de este preciado recurso hídrico, indispensable para satisfacer las necesidades rurales (ONU, 2014).

### Agua para consumo humano

Según la Organización Mundial de la Salud, consumir de agua contaminada es uno de los principales factores de enfermedades diarreicas, responsables de unas 829.000 muertes anuales a nivel mundial (OMS, 2023). El acceso a agua potable de buena calidad es esencial para asegurar la salud y el bienestar de las comunidades. A menudo en las áreas rurales, las organizaciones comunitarias enfrentan desafíos relacionados con la falta de capacitación técnica y manuales de operación adecuados para asegurar un manejo eficiente de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). (Artero, 2016)

### Fuentes de agua

Son depósitos naturales o artificiales de donde brota agua de forma continua. Pueden ser de origen natural o contruidos por el ser humano. Algunas de las principales fuentes de agua son:

**Manantiales:** Son afloramientos naturales de agua subterránea que emergen a la superficie terrestre. Los manantiales se forman cuando el agua subterránea encuentra una salida a través de fracturas en las rocas o en zonas de menor presión. (Viessman & Lewis, 2003).

**Ríos y arroyos:** Son corrientes naturales de agua que fluyen sobre la superficie terrestre. Se nutren del agua pluvial, del derretimiento de glaciares y de los manantiales. (Rohli & Vise, 2017).

**Lagos y lagunas:** Son acumulaciones naturales de agua superficial, generalmente dulce que se forman en una cuenca o depresión del terreno.

**Océanos y mares:** Son las mayores acumulaciones de agua salada en la Tierra. Cubren aproximadamente el 71% de la superficie del planeta. (Bordino, 2024)

**Fuentes artificiales:** Son estructuras artificiales creadas por el ser humano para proveer agua, como pozos, acueductos, cisternas, fuentes ornamentales en parques y jardines, entre otras. (Hammer & Hammer Jr., 2008).

**Glaciares y casquetes polares:** Son enormes masas de hielo generadas por la acumulación y compresión de la nieve. Constituyen una importante reserva de agua dulce en estado sólido. (Organización Meteorológica Mundial, 2012)

Estas fuentes de agua son fundamentales para el suministro de agua potable, actividades agrícolas, industria y preservación de los ecosistemas naturales. Es importante proteger y gestionar adecuadamente estos recursos hídricos para garantizar su sostenibilidad y disponibilidad a largo plazo.

### **Normativa ambiental vigente para el control de la calidad del agua para consumo humano**

En Ecuador, hay dos normativas que abordan la calidad del agua para consumo, cada una con un enfoque distinto. La primera se enfoca en los parámetros de calidad del agua sin tratar, mientras que la segunda se centra en el agua potable previamente tratada. Estas regulaciones son:

- Acuerdo Ministerial No. 097-A del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, "Agua para consumo humano"
- Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994

### **Acuerdo Ministerial No. 097-A del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente**

Específicamente en la Tabla 1, se definen los parámetros de calidad para las fuentes hídricas destinadas al consumo humano y actividades domésticas. Esta normativa se ocupa de los estándares de calidad del agua cruda utilizada para estos fines.

## **La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108, "Agua para consumo humano"**

La Normativa Técnica Ecuatoriana INEN 1108, denominada "Agua para consumo humano", define los criterios físicos y químicos que debe cumplir el agua destinada al consumo humano posterior a su tratamiento. (NTE INEN 1108, 2020)

## **Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994**

La Norma NOM-127-SSA1-1994 establece los límites permitidos de contaminantes en el agua potable y los tratamientos necesarios para garantizar que sea segura para el consumo humano en México, protegiendo así la salud de la población. (NTE INEN 1108, 2020)

### **Límite permisible para la calidad de agua**

Los parámetros establecidos para evaluar la aptitud del agua para el consumo suelen expresarse en concentraciones de miligramos por litro (mg/L). Estos límites definen los criterios de calidad física, química o biológica que el agua debe cumplir para no suponer un riesgo significativo para la salud humana. Por ejemplo, la presencia de contaminantes como metales pesados, bacterias o sustancias químicas debe estar por debajo de ciertos niveles específicos para garantizar que el agua sea inocua para beber. Estos criterios son definidos por organismos nacionales e internacionales y se actualizan periódicamente para reflejar nuevos conocimientos científicos y avances tecnológicos sobre la protección de la salud pública. (Acuerdo Ministerial 097-A, 2015; NTE INEN 1108, 2020).

### **Características del agua**

#### **Características físicas**

Las características físicas del agua se refieren a sus propiedades organolépticas y medibles sin alterar su composición. Incluyen (Pavón, 2022):

**Color:** Puede ser causado por materiales en suspensión o disueltos como hierro, manganeso, algas o materia orgánica.

**Olor y sabor:** Pueden ser producidos por compuestos orgánicos, algas, bacterias o gases disueltos.

**Turbidez:** Causada por partículas suspendidas como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida.

**Temperatura:** Afecta la viscosidad, solubilidad de gases y reacciones químicas.

**Conductividad eléctrica:** Indica la presencia de sales disueltas e iones.

### **Características químicas**

Las características químicas del agua incluyen su composición y reactividad. Los principales componentes y parámetros son (Mimenza, 2018):

**pH:** Indica la concentración de iones hidrógeno.

**Dureza:** Causada principalmente por sales de calcio y magnesio.

**Alcalinidad:** Debida a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

**Sólidos disueltos totales:** Incluyen pequeñas cantidades de materia orgánica y sales inorgánicas.

**Gases disueltos:** Como oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno.

**Compuestos orgánicos:** Naturales (ácidos húmicos) o sintéticos (pesticidas, detergentes).

**Compuestos inorgánicos:** Incluyen metales pesados, nutrientes como nitratos y fosfatos.

### **Características biológicas**

Las características biológicas del agua se refieren a la presencia de organismos vivos. Los principales grupos incluyen (Bitton, 2014):

**Bacterias:** Como coliformes, Escherichia coli, Salmonella, Vibrio cholerae.

**Virus:** Por ejemplo, hepatitis A, rotavirus, norovirus.

**Protozoos:** Incluyen Giardia lamblia, Cryptosporidium parvum.

**Algas:** Pueden causar eutrofización y producir toxinas.

**Hongos:** Algunos pueden ser patógenos oportunistas.

**Helminetos:** Huevos y larvas de parásitos como Ascaris lumbricoides.

### **Planta de tratamiento de agua potable**

Una planta de tratamiento opera con base en principios y procesos fundamentales para purificar el agua. Es una instalación compuesta por una secuencia de operaciones o procesos unitarios, cuyo diseño tiene como finalidad purificar el agua cruda de las fuentes naturales provenientes de ríos, lagos, aguas subterráneas. El propósito principal es eliminar los contaminantes microbiológicos, físicos y químicos presentes en el agua cruda hasta lograr que cumplan con los límites aceptables de calidad estipulados por la normativa. (Arellano, 2022)

## **Potabilización de aguas**

La potabilización del agua es un procedimiento mediante el cual se depuran los contaminantes y microorganismos que se encuentran en el agua sin tratar haciéndola apta para ser consumida por la población a la cual va a ser distribuida. Existen diferentes sistemas y técnicas de potabilización, que incluyen pasos según la calidad inicial del agua y los requisitos de calidad deseados. (Ortiz, 2019)

## **Desinfección del agua**

Es un proceso fundamental para la protección contra enfermedades transmitidas por el agua. Este tratamiento debe aplicarse de manera prioritaria cuando el agua está contaminada o cuando no se puede asegurar su calidad potable de forma permanente. La desinfección puede lograrse a través de diversos métodos físicos o químicos.

Se utilizan agentes desinfectantes, como cloro, ozono o rayos UV, para eliminar en su totalidad los microorganismos patógenos se encuentran en la fuente de agua cruda.

Diversas técnicas se emplean para potabilizar el agua, incluyendo la ebullición, la desinfección con luz ultravioleta y la aplicación de procesos químicos. La finalidad de estas técnicas es eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua, que pueden causar enfermedades. Por consiguiente, un agente desinfectante adecuado para su uso en plantas de tratamiento de agua debe contar con ciertas cualidades esenciales: (Vázquez Rodríguez et al., 2022)

- Debe ser capaz de destruir los organismos patógenos a la temperatura ambiente y en un tiempo razonable.
- Debe ser efectivo para eliminar los organismos que causan enfermedades.
- No tiene que convertir el agua en algo nocivo para la salud humana, alterando su pureza y sabor natural.
- Debe mantener un efecto residual para proteger el agua de futuras contaminaciones.

## **Pretratamiento**

Normalmente en este proceso lo que se intenta lograr es retirar en su mayoría los sólidos gruesos y materiales en suspensión que están en el agua cruda, incluyendo operaciones de cribado, desarenado y desengrasado. (Mukashev, 2015)

## **Procesos unitarios de la PTAP**

### **Aireador**

El aireador es un dispositivo crucial que introduce oxígeno en el agua durante el proceso de potabilización. Funciona mediante bandejas que distribuyen el agua de manera uniforme, exponiéndola al aire y facilitando la transferencia de oxígeno. Además, este equipo ayuda a oxidar metales disueltos como el hierro y el manganeso, mejorando así la calidad del agua. (López, 2016)

### **Coagulación y floculación**

En este proceso se agregan productos químicos coagulantes, como sales de aluminio o hierro, que desestabilizan las partículas en suspensión y permiten su aglomeración en partículas más grandes llamadas flóculos. (Mukashev, 2015) Los coagulantes juegan un papel esencial en el proceso de coagulación y floculación en las instalaciones de tratamiento de agua potable. El policloruro de aluminio (PAC) es uno de los coagulantes más utilizados por su eficacia para desestabilizar partículas coloidales y promover la formación de flóculos, con mayor eficiencia comparada con el sulfato de aluminio tradicional. Además, puede usarse en un amplio rango de pH y produce menos lodos residuales que otros coagulantes. (Duan & Gregory, 2002)

### **Filtración**

El agua clarificada pasa a través de filtros de medio granular, como arena o antracita, para eliminar las partículas suspendidas restantes y algunos microorganismos. Es el proceso que contribuye a disminuir los sólidos suspendidos presentes en el agua o que puedan haber quedado de los procesos unitarios anteriores. El fluido pasa a través de un medio o material filtrante utilizando diferentes granulometrías (tamaños) por gravedad, para atrapar los sólidos de diferentes dimensiones. (Mukashev, 2015)

### **Sedimentación**

Los flóculos formados en la etapa anterior se sedimentan por gravedad en tanques de sedimentación, separándolos del agua. (Mukashev, 2015)

## **Sedimentación primaria**

La sedimentación primaria es un proceso de tratamiento de aguas residuales que utiliza la gravedad para separar y remover sólidos suspendidos del agua, generalmente en tanques de sedimentación. (Mackenzie, 2010)

## **Sedimentación secundaria**

La sedimentación secundaria es un proceso utilizado en las plantas de tratamiento de agua potable después del tratamiento biológico. Aquí se separan los lodos activados del agua tratada, permitiendo que el agua pase a la siguiente etapa de tratamiento y los lodos se traten y manejen adecuadamente. (Henze et al., 2008)

## **Tratamiento adicional**

Dependiendo de la calidad del agua cruda y los requisitos finales, pueden emplearse procesos adicionales como ablandamiento, remoción de hierro y manganeso, filtración por membranas, adsorción con carbón activado, entre otros. (Mukashev, 2015)

## **Filtración con carbón activado**

La filtración con carbón activado es un método de tratamiento de agua que utiliza carbón altamente poroso para adsorber contaminantes orgánicos, cloro y compuestos que causan olores y sabores desagradables (Crittenden, 2012)

## **Prueba de jarras**

Este experimento de laboratorio simula el proceso que se da en una planta de tratamiento del agua, el cual incluye como es el proceso de coagulación, floculación y sedimentación. Se emplea para determinar las cantidades óptimas de coagulantes químicos, como sales de aluminio o hierro y los ajustes necesarios en el pH para lograr una remoción eficiente de partículas y turbidez. (Ortiz, 2019)

## **Dosis óptima para coagulación y floculación**

Jairo Alberto Romero Rojas, en su influyente obra "Potabilización del Agua" (1999), enfatiza que la dosis óptima de químicos en una Planta de Tratamiento para agua potable (PTAP) no es un valor fijo, sino que fluctúa según las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua cruda. Esta variabilidad se debe a que cada fuente de agua ya



sea un río, lago o acuífero, presenta una composición única influenciada por factores geológicos, climáticos y antropogénicos. La dosificación de coagulantes, floculantes y reguladores de pH se cuantifica en miligramos por litro (mg/L), una unidad que expresa la masa del químico necesaria por cada litro de agua tratada; para lograr esta dosificación adecuada, se realizan experimentos mediante pruebas de jarras que replican las condiciones de una planta de tratamiento. Para determinar estas dosis, se recurre al "ensayo de jarras" o "jar test", una técnica desarrollada en la década de 1930 que simula a escala de laboratorio los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Este método, estandarizado por organizaciones como ASTM International y AWWA, permite optimizar y controlar el proceso de tratamiento. (Romero Rojas, 1999)

El equipo típico consta de 4 a 6 jarras de 2 litros, aunque en investigación pueden usarse hasta 12. Las jarras son de vidrio o acrílico transparente para observar la formación de flóculos. Un agitador múltiple con paletas planas simula la mezcla rápida (coagulación) y lenta (floculación) en la planta. En las jarras se colocan los productos químicos y se observan las dosis necesarias para eliminar color y turbidez, y alcanzar un pH óptimo para el consumo humano. (Ortiz & Angeles, 2019)

## **Cloración**

### **Hipoclorito de sodio (NaClO)**

Es un compuesto químico que se utiliza como desinfectante en el tratamiento de agua potable y aguas residuales, y es efectivo contra una gran variedad de patógenos. (Rodríguez, 2020)

### **Hipoclorito de calcio (Ca (ClO)<sub>2</sub>)**

Es un compuesto oxidante y desinfectante que se usa en el tratamiento del agua, comúnmente en forma de polvo o tabletas. Al disolverse en agua, libera cloro activo. (Sandia, 2023)

## **Importancia de los manuales y guías técnicas**

Los manuales y guías técnicas son instrumentos esenciales para la formación y la capacitación de los operarios de las PTAP. Estos documentos brindan información detallada sobre los principios teóricos, los procedimientos operativos, el mantenimiento de equipos y la resolución de problemas comunes. Su implementación contribuye a garantizar

una operación eficiente y segura de las instalaciones, reduciendo los riesgos para la salud pública y el medio ambiente al nivel más bajo posible. (Mukashev, 2015)

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Diagnóstico de la situación actual de la PTAP de la parroquia Rumipamba

La utilización de métodos estandarizados y equipos de alta precisión asegura la exactitud y reproducibilidad de los resultados, lo cual es esencial para la gestión eficaz de los recursos hídricos y para garantizar la seguridad del agua consumida por la población. Además, estos análisis permiten realizar un seguimiento continuo y tomar decisiones informadas para mantener la calidad del agua dentro de los límites seguros establecidos por las normativas. (Gómez, 1995)

#### Caracterización del agua

##### Selección de la muestra

Durante la elaboración del presente trabajo, se efectuó la caracterización del agua cruda, para lo cual se realizó un muestreo manual del agua cruda que ingresa al sistema de tratamiento de agua potable. En total se tomó 8 muestras simples para el análisis de Metales como: Aluminio, Bario, Cobre, Hierro, Arsénico; Nutrientes; Materia Orgánica; Coliformes y Giardia.

Se identificaron las muestras con su respectiva etiqueta en la que se detalló: código, lugar, fecha, hora, y preservante utilizado en el caso de las muestras que lo necesitaron. Se procuró cerrar bien los frascos al momento de su traslado al Laboratorio de Tecnología Industrial - Área de Agua y Saneamiento Ambiental.

Los materiales utilizados en el muestreo se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1. Materiales y Equipos utilizados en el muestreo.**

Cantidad	Material	Especificación
1	Botella ámbar	1000 mL
1	Botella ámbar	100 mL
1	Envase de plástico estéril	100 mL
5	Botella plástica	1000 mL
2	Baldes plásticos	20 L
6	Guantes	Nitrilo
1	Mascarilla	Quirúrgica

**Tabla 1. Materiales y Equipos utilizados en el muestreo. (Continuación)**

Cantidad	Material	Especificación
1	Caja de tiras pH	Marca MACHEREY-NAGEL
1	Cooler	50 L
	<b>Equipos</b>	
1	Turbidímetro	Marca HACH
1	Multiparámetro	Marca HORIBA
1	GPS	Marca GARMIN

Para la conservación de la muestra se refrigeró a 4°C manteniendo la integridad física, química y biológica que se encuentren dentro del período entre la recolección de la muestra y su análisis.

### Parámetros de Análisis

**Tabla 2. Parámetros de análisis de agua cruda para tratamiento.**

Parámetro	Unidad
Aceites y Grasas	mg/L
Acidez y alcalinidad	mg/L
Aluminio	mg/L
Arsénico	mg/L
Bario	mg/L
Cobre	mg/L
Coliformes fecales	NPM/100 mL
Coliformes totales	NPM/100 mL
Color	Unidades de Platino-Cobalto
Color aparente	Pt-Co
Cromo hexavalente	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	mg/L
Hierro total	mg/L
Nitratos (como NO <sub>3</sub> )	mg/L
Nitritos	mg/L
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L
Potencial Hidrógeno	unidades de pH
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
Sólidos, suspendidos	mg/L
Sulfatos	mg/L
Tensoactivos	mg/L
Turbiedad	NTU
Giardia	Número de quistes/L

La caracterización del agua es necesaria para conocer los contaminantes presentes, para aplicar un tratamiento adecuado que garantice su correcta y eficiente depuración. En el Laboratorio de Tecnología Industrial - Área de Agua y Saneamiento Ambiental se realizó el análisis de los siguientes parámetros: Acidez y Alcalinidad, Aluminio, Bario, Cobre, Cloruros, Color, Color Aparente, Demanda Química de Oxígeno, Cromo Hexavalente, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fluoruro, Hierro Total, Nitratos (como NO<sub>3</sub>), Nitritos, Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), Potencial Hidrógeno, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Suspendidos, Sulfatos, Tensoactivos. En el caso de coliformes totales y fecales, se analizaron en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA).

Las muestras que son para el análisis de Arsénico, Aceites y Grasas, las muestras fueron enviadas al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM). Y para identificar la presencia de Giardia en el agua sin tratar, la muestra se envió al laboratorio SEIDLABORATORY CÍA. LTDA el cual se realizó con base en el método SE.MI y el resultado se comparó con la tabla 2 de la normativa INEN 1108, el informe respectivo del análisis se observa en el Anexo III.

### **Determinación del Caudal**

El caudal se determinó con el método volumétrico para lo que se utilizó una cubeta de 20L y se cronometró el tiempo en que tardaba en llenarse. Se efectuaron cinco repeticiones de las cuales se determinó la media aritmética del tiempo que tardo en llenarse la cubeta, para garantizar mayor exactitud de los resultados. Con la relación entre estas dos medidas se determinó el caudal (Q) mediante la ecuación 1, ya que ambas mediciones, volumen (V) y tiempo (t) son tomadas de forma simultánea.

$$Q = \frac{V}{t}$$

**Ecuación 1.** Determinación de caudal.

Dónde:

*Q*: Caudal en L/s

*V*: volumen en L

*t*: tiempo en s

## **Determinación de Turbidez**

En la medición de la turbidez del agua se utilizó un turbidímetro HACH modelo 2100Q, reconocido por su precisión y confiabilidad. Primero, el dispositivo se encendió y se calibró utilizando estándares de 10, 100 y 800 NTU para garantizar una medición exacta. Tras completar este proceso, se realizaron mediciones de turbidez. Se extrajeron 10 mL de la muestra de agua y se vertieron en una celda de vidrio circular. La celda se secó cuidadosamente con toallas de papel y se limpió en una dirección para evitar rayones que pudieran interferir con la exactitud de la lectura.

La celda preparada se insertó en el turbidímetro para realizar la medición. Este aparato mide la cantidad de luz dispersada por las partículas presentes en la muestra, proporcionando una lectura precisa de la turbidez. Tras completar la medición, la celda fue retirada y lavada meticulosamente con agua destilada para eliminar cualquier residuo.

Los resultados obtenidos se expresaron en unidades nefelométricas (NTU), ofreciendo una cuantificación clara y precisa de la turbidez del agua. Este análisis es fundamental para el seguimiento de calidad del agua de la zona, ya que la turbidez puede afectar tanto la potabilización como a la eficacia de los procesos de tratamiento. Utilizar un turbidímetro calibrado asegura que las mediciones sean uniformes y confiables.

## **Determinación de Color aparente**

Para medir color aparente, se utilizó un espectrofotómetro HACH modelo DR 1900 y el método "Method 8025 Color, True and Apparent (Platinum-Cobalt Standard Method)". Se extrajeron inicialmente 10 mL de muestra, así como del resultado de la prueba de jarras. Estas muestras se colocaron en una celda cuadrada, mientras que en otra celda se preparó el blanco con 10 mL de agua destilada o ionizada. Luego, se seleccionó el programa 120 Color en el espectrofotómetro, configurado a 455 nm a la longitud de onda, para realizar la medición de color. Se siguieron los pasos del método mencionado y se procedió con la medición, los resultados son expresados en unidades de platino cobalto (Pt-Co).

## **Determinación de alcalinidad y acidez**

La determinación de este parámetro se realizó mediante una titulación ácido-base, utilizando ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) como agente titulante con concentración de 0.02 N. Se utilizaron los indicadores como fenolftaleína y anaranjado de metilo para detectar la presencia de carbonatos por alcalinidad a la fenolftaleína y bicarbonatos se analizó

mediante alcalinidad total. Se preparó la solución de ácido sulfúrico necesaria para la titulación, extrayendo una cantidad adecuada de una solución madre de ácido sulfúrico 1 N. Este procedimiento se llevó a cabo siguiendo la ecuación 2 para obtener 1000 mL de la solución diluida de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con una concentración de 0.02 N.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

### **Ecuación 2.** Preparación de soluciones

Donde:

C1= Concentración solución madre

V1= Volumen a tomar de la solución madre (mL)

C2= Concentración solución diluida

V2= Volumen de la solución diluida (mL)

Una vez preparada la solución, se instaló el equipo de titulación. Primero, se colocó la bureta en el soporte universal, asegurándose de que estuviera nivelada. Después, se vertió el ácido sulfúrico desde un vaso de precipitación a la bureta. Se abrió la llave la cual pasa rápidamente el agente titulante para permitir que llegue a la boca de la bureta y se eliminaron las burbujas que se habían formado en el instrumento. Luego, se transfirieron 50 mL de la muestra de afluente a un matraz Erlenmeyer de 100 mL. Una vez dispuesta la muestra en el matraz, se añadieron 3 gotas de fenolftaleína y se agitó el matraz. Si el color adquiría tonalidades púrpuras, indicaba la presencia de carbonatos. Sin embargo, al mantenerse incoloro, se concluyó que no había carbonatos presentes en la alcalinidad a la fenolftaleína, dando como resultado una concentración de carbonatos de 0. Luego, se añadieron 3 gotas del indicador de anaranjado de metilo y se agitó el matraz. Cuando el color tomó un tono amarillento, se procedió a titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.02 N hasta que se produjo un cambio de color a anaranjado, registrando el volumen de titulante utilizado. Los resultados de la alcalinidad, se emplearon las ecuaciones 3 y 4, las cuales expresan los resultados en mg/L de carbonatos de calcio. (CaCO<sub>3</sub>).

$$\text{Alcalinidad a la fenolftaleína} = \frac{A * N * 50000}{V_m}$$

### **Ecuación 3.** Determinación alcalinidad a la fenolftaleína

$$\text{Alcalinidad al anaranjado de metileno} = \frac{B * N * 50000}{V_m}$$

**Ecuación 4.** Determinación alcalinidad total.

Donde:

A = Cantidad de  $H_2SO_4$  gastado para alcanzar el punto de vire a la fenolftaleína (mL)

B = Cantidad de NaOH gastado para alcanzar el punto de vire del anaranjado de metilo (mL)

N = Normalidad del titulante

V<sub>m</sub> = Volumen de muestra (mL)

**Determinación de sólidos totales, disueltos y suspendidos**

La determinación de sólidos totales, disueltos y suspendidos requirió diversos equipos y materiales. Incluyendo una estufa, crisoles, vidrios de reloj, papel filtro, una bomba de vacío con su kit de filtración, desecador, pinzas, balanza analítica, probetas y vasos de precipitación. Primero, se lavaron los crisoles con agua y agua destilada, se identificaron con un código y se colocaron en una estufa a 105 °C. Tras 24 horas, se retiraron del desecador y se dejaron enfriar durante una hora antes de pesarlos y registrar los pesos. Luego, se tomó una muestra de 50 mL del afluente para los sólidos totales, se colocó en un crisol identificado y se envió a la estufa. Para los sólidos disueltos y suspendidos, se preparó el equipo de filtración con papel filtro y se conectó a la bomba de vacío. Se filtró una muestra de 50 mL, asegurándose de que no quedaran gotas en la probeta ni en el filtro. La muestra restante en el matraz Kitasato se transfirió a otro crisol identificado para obtener los sólidos disueltos y también se envió a la estufa. Se utilizó pinzas en todo momento para evitar el contacto directo y prevenir errores.

Finalmente, al pasar las 24 horas requeridas, se extrajeron cuidadosamente los crisoles, y se colocaron en el desecador para su enfriamiento. Se esperó una hora adicional para permitir que los crisoles alcanzaran la temperatura ambiente antes de pesarlos en la balanza analítica. Los resultados obtenidos fueron expresados en mg/L y se observan en el Anexo XXII. Para su determinación se utilizó la ecuación 5 para sólidos totales y disueltos y la ecuación 6 para sólidos suspendidos.

$$ST; SD = \frac{(B - A) * 1000}{V_m}$$

**Ecuación 5.** Determinación de sólidos totales, disueltos



Donde:

ST= Sólidos totales

SD= Sólidos Disueltos

A= Peso inicial del crisol (g)

B= Peso final del crisol después de pasar en la estufa a 105 °C por 24 horas (g)

Vm= volumen de la muestra (L)

$$SS = ST - SD$$

**Ecuación 6.** Determinación de sólidos suspendidos.

Donde:

SS= Sólidos suspendidos

ST= Sólidos totales

SD= Sólidos disueltos

### **Determinación de Hierro total**

Para llevar a cabo la medición de este parámetro, se extrajeron 20 mL de muestra del afluente y del agua obtenida de la prueba de jarras de coagulación- floculación y desinfección. Se utilizó el espectrofotómetro DR 1900 fabricado por HACH, siguiendo el "Method 8008 Iron, Total (USEPA FerroVer® Method)". Durante el proceso de medición, se inició el programa 265 Iron, FerroVer, utilizando una longitud de onda de 510 nm y empleando un sobre del reactivo "FerroVer® Iron Reagent Powder Pillow". Este procedimiento garantiza la precisión y confiabilidad de los resultados. Además, se realizaron controles de calidad paralelos para asegurar la exactitud de la medición. Los resultados obtenidos se expresaron en unidades de mg/L de Fe, proporcionando una cuantificación precisa del contenido de hierro total en las muestras analizadas.

### **Determinación de Nitratos y Nitritos**

Para la cuantificación de nitratos en las muestras del afluente, se tomaron 10 mL de muestra y se utilizaron para el análisis mediante el espectrofotómetro DR 1900, fabricado por HACH. Se aplicó el "Method 8039, Cadmium Reduction Method", que es conocido por su precisión y confiabilidad. El proceso de medición comenzó iniciando el programa 355 N,

Nitrate HR PP en el espectrofotómetro, utilizando una longitud de onda de 520 nm. Para la reacción, se añadió un sobre de "NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow" a la muestra, lo que permitió la adecuada reducción del cadmio y la formación de un complejo colorimétrico que fue medido para determinar la concentración de nitratos. Los resultados fueron expresados en unidades de mg/L de  $\text{NO}_3^-$ -N, proporcionando datos críticos para el análisis de la calidad del agua.

En cuanto a la medición de nitritos, también se emplearon 10 mL de muestra del afluente. El análisis se llevó a cabo utilizando el mismo espectrofotómetro DR 1900 de HACH, aplicando esta vez el "Method 8507, USEPA Diazotization Method". Este método implica la diazotización de nitritos en presencia de reactivos específicos. El programa 371 N Nitrite LR PP fue iniciado en el espectrofotómetro, utilizando también una longitud de onda de 520 nm. Se incorporó un sobre de "NitriVer 3 Reagent Powder Pillow" en la muestra, lo que permitió la formación de un compuesto azoico que fue medido colorimétricamente para determinar la concentración de nitritos. Los resultados fueron expresados en unidades de mg/L de  $\text{NO}_2^-$ -N, proporcionando una cuantificación precisa de los nitritos presentes en el agua.

Ambos métodos, para nitratos y nitritos, son esenciales para el seguimiento del estado de la calidad del agua, ya que estos compuestos pueden tener impactos significativos en su aplicación. La precisión de los métodos utilizados y la fiabilidad del equipo aseguran que los resultados obtenidos sean exactos y reproducibles, lo que es esencial para realizar evaluaciones continuas y tomar decisiones informadas sobre el tratamiento y la gestión del agua. Estos análisis permiten detectar y controlar la presencia de contaminantes, contribuyendo a la seguridad y bienestar de las poblaciones que dependen del recurso hídrico.

### **Determinación de aluminio**

Para la medición de aluminio, se tomó una muestra de 50 mL de afluente y del agua obtenida durante la prueba de jarras. El análisis se llevó a cabo utilizando el espectrofotómetro DR 1900, desarrollado por HACH, siguiendo el "Method 8012, Aluminium (Aluminon Method)", reconocido por su precisión y fiabilidad en la detección de aluminio en el agua. Se inició el programa 10 Aluminum Alumin en el espectrofotómetro, el cual utiliza 522 nm de longitud de onda para la medición. Durante el proceso, se añadieron productos específicos como "AluVer 3", sobres de ácido ascórbico y de reactivo en polvo "Bleaching 3" a la muestra. Estos reactivos permiten la formación de un complejo coloreado que puede ser cuantificado mediante el espectrofotómetro.

El resultado medido es expresado en unidades de mg/L de  $Al^{3+}$ , proporcionando una medida precisa del contenido de aluminio en las muestras analizadas. Este procedimiento es crucial para el seguimiento y control de los niveles de aluminio en el agua, ya que el aluminio puede causar efectos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

### **Determinación de Sulfatos**

Para evaluar el contenido de sulfato se extrajeron inicialmente 10 mL de muestra del afluente. El análisis se realizó utilizando el espectrofotómetro DR 1900, fabricado por HACH, aplicando el “Método 8051 Sulfato (USEPA SulfaVer 4 Method)”, conocido por su precisión y confiabilidad. Se activó el programa Sulfato 680 en el espectrofotómetro, el cual opera a una longitud de onda de 450 nm. Para la medición, se añadió a la muestra un sobre de reactivo en polvo SulfaVer 4. Este reactivo reacciona con los sulfatos presentes, formando un complejo que se puede medir colorimétricamente.

La medición de los sulfatos es fundamental para el control de la calidad del agua, ya que los niveles altos de sulfatos pueden afectar a la salud de la población provocando problemas gastrointestinales y afectando al medio ambiente dañando la vegetación y a la vida silvestre. Los resultados obtenidos se expresaron en unidades de mg/L de  $SO_4^{2-}$ , lo que proporciona una cuantificación precisa y confiable de los niveles de sulfato en la muestra. Este análisis es esencial para el monitoreo continuo de los cuerpos de agua, permitiendo detectar cambios en la concentración de sulfatos y tomar decisiones informadas para la gestión y el tratamiento del agua. Además, el uso de métodos estandarizados y equipos avanzados asegura que los resultados sean consistentes y reproducibles, contribuyendo a la protección de los recursos hídricos y al cumplimiento de las normas ambientales.

### **Determinación de Nitrógeno amoniacal**

Al medir la concentración de nitrógeno amoniacal en la muestra, se tomó un volumen inicial de 25 mL del afluente. Este volumen es estándar en muchos métodos de análisis de agua, ya que proporciona una cantidad suficiente para la reacción y la medición, minimizando al mismo tiempo el uso innecesario de muestra.

El análisis se llevó a cabo utilizando el espectrofotómetro DR 1900, un dispositivo de alta precisión fabricado por HACH. Se aplicó el “Método 8038 Nitrógeno, Amoníaco (USEPA1 Nessler Method2)”, método aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), se caracteriza por su alta sensibilidad y un alto rango de detección.

Se seleccionó el programa 380 N, Ammonia, Ness, específicamente diseñado para este análisis. Este programa opera a una longitud de onda de 425 nm, que es la longitud óptima que se mide la intensidad del color amarillo-marrón producido por la reacción del amoníaco con el reactivo Nessler. Esta longitud de onda se selecciona porque en este punto del espectro visible, la absorbancia muestra una relación directamente proporcional con la concentración de nitrógeno amoniacal.

Para el ensayo, se añadieron 3 gotas del reactivo "Mineral Stabilizer", 3 gotas "Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent" y se añadió 1 mL de "Nessler Reagent" a la muestra.

### **Determinación de Cobre**

Para la evaluación de este parámetro, se inició extrayendo 20 mL de muestra del afluente. Se aplicó el "Method 8506 Copper (USEPA Bicinchoninate Method)", un procedimiento aprobado y validado por la USEPA que es la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Este método se destaca por su alta especificidad para determinación de cobre, mínima interferencia de otros metales y excelente linealidad en un amplio rango de concentraciones, típicamente de 0.04 a 5.00 mg/L Cu. Para llevar a cabo la medición, se activó el programa 135 Copper, Bicin, con una longitud de onda de 560 nm, Se incorporó a la muestra un sobre del reactivo en polvo "CuVer 1 Copper Reagent powder pillow". Este reactivo, diseñado por HACH para su uso exclusivo con este método, contiene una mezcla precisa de bicarbonato de sodio, hidroxilamina hidrocioruro (agente reductor), y sales alcalinas como carbonato de sodio o borato de sodio. La formulación en polvo garantiza una larga vida útil, evitando la degradación que puede ocurrir en reactivos líquidos.

Al agregar el reactivo a la muestra, se observa si el color que inicialmente estaba incoloro cambia significativamente a púrpura, dando una señal que si hay presencia de cobre. La reacción es rápida a temperatura ambiente, alcanzando su máximo desarrollo de color en aproximadamente 2-5 minutos. Los resultados del análisis se expresan en unidades de mg/L Cu.

### **Tensoactivos**

El análisis fue realizado mediante el método SAAM, utilizando el rango bajo de la tabla 3 debido a que la concentración esperada de surfactantes aniónicos en la muestra era de 0,025 – 0,1 mg/L. El rango de trabajo y el volumen de muestra por utilizar fueron determinados según la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Rango de trabajo para el método SAAM.

Rango	Concentración esperada (mg/L)	Volumen de muestra a ser utilizado (mL)
Bajo	0,025 – 0,1	400
Medio	0,1 - 1	250
Alto	1 - 10	20 aforado a 100

La muestra fue elegida según la concentración esperada de surfactantes aniónicos. Se colocó en un embudo de separación y se alcalinizó con NaOH 0,5 N, usando fenolftaleína como indicador. Luego, se añadió H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 N, gota a gota, para eliminar el color rosa de la muestra en análisis. Posteriormente, se agregaron 10 mL de cloroformo y 25 mL de azul de metileno, agitando la mezcla durante 30 segundos para permitir que las fases se separaran. La fase de cloroformo se aisló y se transfirió a otro embudo, repitiendo el proceso dos veces más, cada vez con 10 mL de cloroformo. Las capas de cloroformo obtenidas se combinaron y se lavaron con 50 mL de solución de lavado, agitándolas durante 30 segundos. La fase de cloroformo se filtró en un balón de 50 mL usando un filtro de algodón. La solución de lavado se sometió a dos extracciones adicionales con 10 mL de cloroformo, añadiendo los extractos al balón de 50 mL. Por último, una parte de la solución ajustada se transfirió a viales de medición, utilizando cloroformo como blanco en el espectrofotómetro, donde se midió a una longitud de onda de 652 nm, reportándose el valor de los tensoactivos aniónicos en mg/L.

### **Determinación de bario**

Para la medición de bario, se tomó 10 mL de la muestra del afluente y muestra de la prueba de jarras. El análisis se llevó a cabo utilizando el espectrofotómetro DR 1900, desarrollado por HACH, siguiendo el "Method 10251, Barium, Turbidimetric", reconocido por su precisión y fiabilidad en la detección de bario en el agua. Se ajustó el pH a 5 de la muestra, utilizando solución de hidróxido de sodio 5 N antes del análisis y se corrigieron los resultados para compensar cualquier dilución causada por las adiciones de volumen.

Durante el proceso, se añadió el contenido de un BariVer™ 4 Barium Reagent Powder Pillow a la celda de la muestra. Si había bario presente en la muestra, la solución debía volverse turbia; se agitó la mezcla para asegurar una disolución completa y evitar que el polvo no disuelto afectara la precisión. A continuación, se activó el temporizador del equipo para permitir un tiempo de reacción de 5 minutos, manteniendo la celda de muestra inmóvil durante este intervalo. Una vez transcurrido el tiempo, se limpió la celda de muestra y, dentro de los 5 minutos posteriores al final del cronómetro, se colocó la muestra en el

soporte del recipiente. Los resultados se reportaron en mg/L de Ba<sup>2+</sup>, proporcionando una medición precisa de la concentración de bario en las muestras analizadas.

### Coliformes totales

El método 9221 B de la American Public Health Association (APHA) para coliformes totales en muestras de agua implica esterilizar el material de vidrio, preparar los medios de cultivo necesarios, recoger la muestra de agua en un frasco estéril, preparar diluciones en serie ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ), inocular 1 mL de cada dilución en tres tubos de caldo lactosa con tubos de Durham por cada dilución, incubar a  $35\pm 0.5$  °C durante 24 a 48 horas, observar la producción de gas, subcultivar los tubos positivos en medios selectivos (caldo verde brillante bilis) a  $35\pm 0.5$  °C durante 24 horas para confirmar coliformes, y contar los tubos positivos para determinar el número de coliformes por 100 mL de muestra usando la tabla 4 de Número Más Probable (NMP).

### Coliformes Fecales

El método 9221 E de la American Public Health Association (APHA) para coliformes fecales en muestras de agua implica esterilizar el material de vidrio, preparar los medios de cultivo necesarios, recoger la muestra de agua en un frasco estéril, preparar diluciones en serie ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ ), inocular 1 ml de cada dilución en tres tubos de caldo lactosa con tubos de Durham por cada dilución, incubar a  $35\pm 0.5$  °C durante 24 a 48 horas, observar la producción de gas, subcultivar los tubos positivos en caldo EC e incubar a  $44.5\pm 0.2$  °C durante 24 horas. La producción de gas en este medio confirma la existencia de coliformes fecales. Finalmente, se cuentan los tubos positivos para determinar el número de coliformes fecales por 100 mL de muestra usando la tabla 4 de Número Más Probable (NMP).

**Tabla 4.** Índice de NMP para diferentes combinaciones de resultados positivos y negativos con 3 tubos de 10 mL, 3 de 1.0 mL y 3 de 0.1 mL.

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 mL	Límite confiable de 95 %	
3 tubos con 10 mL	3 tubos con 1 mL	3 tubos con 0.1 cm <sup>3</sup>		Inferior	Superior
0	0	0	<3	<0.5	---
0	0	1	3	<0.5	9
0	1	0	3	---	13

**Tabla 4.** Índice de NMP para diferentes combinaciones de resultados positivos y negativos con 3 tubos de 10 mL, 3 de 1.0 mL y 3 de 0.1 mL. (Continuación)

No. de tubos con reacciones positivas			Índice del NMP por 100 mL	Límite confiable de 95 %	
3 tubos con 10 mL	3 tubos con 1 mL	3 tubos con 0.1 cm <sup>3</sup>		Inferior	Superior
1	0	0	4	<0.5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	2	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	380
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	280
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1,3
3	3	1	460	71	2,4
3	3	2	1,1	150	4,8
3	3	3	>2,400	---	---

## **2.2 Evaluación de los procesos utilizados para la potabilización del agua para proponer métodos de desinfección efectivos y mejorar la calidad del recurso hídrico.**

### **Prueba de jarras para coagulación y floculación**

El ensayo para realizar la prueba de coagulación y floculación se ejecutó en el Laboratorio de Tecnología Industrial - Área de Agua y Saneamiento Ambiental, ESFOT en la Escuela Politécnica Nacional. Se implementaron diversas concentraciones con el objetivo de obtener la dosis óptima, cuya elección se basó en la evaluación de la calidad del agua cruda que entra a la planta.

Se realizaron pruebas de jarras por duplicado, las cuales se variaron las concentraciones para cada jarra durante la prueba. La muestra se codificó como "APR", que significa "agua para la planta de Rumipamba"

En el experimento de jarras efectuado para mejorar la coagulación y floculación en el procesamiento de agua con coagulante PAC (policloruro de aluminio), floculante y regulador de pH (hidróxido de sodio), se dispuso un equipo de prueba de jarras con seis vasos de precipitación de 1L. Cada recipiente se completó con 1 L de la muestra de agua. Se añadieron diferentes dosis de coagulante PAC a cada vaso, dejando un vaso sin coagulante como referencia. Se mezclaron rápidamente los vasos durante 1-2 minutos a alta velocidad (100-200 rpm) para dispersar bien el coagulante, luego para la agitación se redujo la velocidad a 30-40 rpm y se mezclaron por un tiempo 15-20 minutos para permitir la formación de flóculos. Posteriormente, se detuvo la agitación y se dejaron sedimentar los flóculos durante 30-60 minutos. Se observó visualmente la claridad del agua en cada vaso, así como la cantidad y tamaño de los flóculos formados. Se midieron parámetros como turbidez, pH, metales como aluminio, hierro y bario del agua tratada en cada vaso, ya que la turbidez puede indicar presencia de microorganismos y sólidos suspendidos, el pH afecta la seguridad y el funcionamiento de sistemas de tratamiento, la alcalinidad mantiene el pH estable. Se ajustó el pH con sosa cáustica según fue necesario para cada vaso. Se seleccionó la dosis de coagulante que produjo la mejor clarificación y formación de flóculos, con la menor turbidez residual y la remoción de metales como bario, aluminio y hierro. En caso de ser necesario, se realizaron ajustes adicionales en la dosis de coagulante, floculante o estabilizador de pH y se repitió el procedimiento para optimizar aún más el proceso. Este experimento garantizó la determinación del volumen apropiado



de coagulante PAC, floculante e hidróxido de sodio para procesar el agua de forma eficaz, incrementando la calidad del agua procesada.

La plantilla que se utilizará para documentar los resultados de cada experimento de jarras se puede visualizar en la tabla 6, en la cual se tomaron en cuenta los siguientes indicadores:

**Reactivos utilizados:** Tipo y concentración de coagulantes y floculantes empleados en cada jarra.

**Índice de Willcomb:** Evaluación cuantitativa de la formación de flóculos, comparando diferentes concentraciones y reactivos.

**Valor de pH:** Medición precisa del pH al inicio y al final del proceso para monitorear cualquier cambio significativo durante la coagulación y floculación.

**Turbidez:** Evaluación previa y posterior al procesamiento para determinar la efectividad de la coagulación-floculación.

**Porcentaje de la eficiencia de remoción de turbidez:** Es la cantidad de la eficiencia de reducción de turbidez expresada en porcentaje dando una medida clara que la eficiencia del tratamiento.

**Concentraciones de metales:** En el caso de las dosis óptimas, se medirán las concentraciones de hierro, aluminio y bario, para evaluar la presencia de estos metales después del tratamiento.

**Tiempo de sedimentación:** Observación del tiempo necesario para que los flóculos se asienten.

La evaluación de los flóculos formados durante el proceso fue un componente crucial del estudio. Esto facilitó el análisis de la eficiencia de las distintas proporciones de coagulantes y floculantes en la eliminación de partículas en suspensión en el agua. Los resultados obtenidos de los flóculos que se formaron en la evaluación de las jarras se compararon basándose en la tabla 5, que corresponde al índice de Willcomb.

**Tabla 5.** Índice de Willcomb.

Número del índice	Descripción	Observación
0	No visible	Floc coloidal. Ningún signo de aglomeración
2	Visible	Floc muy pequeño, casi imperceptible
4	Disperso	Floc bien formado, pero uniformemente distribuido (Sedimenta muy lentamente o no sedimentan)
6	Claro	Floc de tamaño relativamente grande pero que no precipita con lentitud)
8	Bueno	Floc que se deposita fácil pero no completamente
10	Excelente	Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina

En la prueba de coagulación-floculación es fundamental monitorear los tres parámetros clave, el valor de pH, la turbidez y las concentraciones de metales, debido a su importancia en el proceso de optimización. El nivel de pH es fundamental porque cualquier variación significativa en el pH durante la coagulación y floculación puede influir en la eficiencia del proceso y el estado de la calidad del agua procesada. Medir el pH al inicio y al final permite regular y supervisar adecuadamente las condiciones del tratamiento para garantizar que el pH final se encuentre dentro del intervalo aceptable para el agua de consumo humano. (Ortiz & Angeles, 2019). La turbidez se registra para evaluar la eficacia en la remoción de partículas suspendidas, que son las principales responsables que el agua presente niveles altos de turbidez. (Guzmán et al., 2013). Al comparar la turbidez inicial y final, se puede determinar cuán efectivo ha sido el proceso en la clarificación del agua.

Las concentraciones de metales como hierro, aluminio y bario se miden antes y después del tratamiento del agua para evaluar la eliminación de contaminantes. Altas concentraciones de hierro pueden causar problemas digestivos, un sabor metálico desagradable y coloración marrón rojiza en el agua. El aluminio está asociado con efectos neurotóxicos y enfermedades neurológicas, mientras que el bario puede causar problemas cardiovasculares y aumento de la presión arterial. Supervisar y regular estos elementos metálicos asegura que el agua procesada cuente con los parámetros de calidad bajo el cumplimiento de la normativa y no constituya un peligro para la salud.

**Tabla 6.** Formato del registro de resultados de prueba de jarras.

Prueba de jarras N°						
Fecha:				Código		
pH inicial		Color inicial (Pt-Co)		Turbiedad inicial (NTU)		
Coagulante		Floculante		Estabilizador de pH		
Reactivos químicos	Numero de jarras					
	1	2	3	4 (Jarra de comparación - Blanco)	5	6
Estabilizador de pH (mg/L)						
Coagulante (mg/L)						
Floculante (mL/L)						
Índice de Willcomb						
pH final						
Turbiedad final (NTU)						
Remoción de turbiedad (%)						
Hierro total (mg/L Fe)						
Aluminio (mg/L)						

### Prueba de jarras para desinfección

El ensayo se efectuó en el Laboratorio de Tecnología Industrial - Área de Agua y Saneamiento Ambiental, ESFOT en la Escuela Politécnica Nacional. Se utilizaron desinfectantes a diferentes concentraciones iniciales para obtener la dosis ideal, basándose en la caracterización del agua acondicionada en tratamientos previos a la desinfección. El objetivo fue aplicar y obtener los datos de la prueba de dosificación en la PTAP.

Para la ejecución de la prueba se empleó la muestra de agua filtrada proveniente del ensayo de jarras de coagulación y floculación, el formato para registrar los resultados será de la siguiente manera:

**Tabla 7.** Formato del registro de resultados de prueba de desinfección.

Prueba de Jarras para desinfección							
Fecha				Desinfectante			
N° de Jarra	pH inicial	Co (mg/L)	Vs madre aforo (mL)	V muestra aforo (mL)	V aforo (mL)	Cf (mg/L)	pH final
1							
2							

## 2.3 Elaboración del manual y guía técnica que proporcione los procedimientos necesarios para la operación y mantenimiento eficiente de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Rumipamba

### Manual

Este manual pretende proporcionar información detallada y práctica sobre los procesos de potabilización de agua. Se presentan conceptos básicos de la desinfección y la cloración de una PTAP. Se proporcionaron los métodos apropiados para llevar a cabo los procesos de cloración de manera adecuada, se adoptaron mejores prácticas para la aplicación de la dosis de coagulación- floculación y cloración.

### Redacción Clara y didáctica

Para la redacción del manual, se utilizó un lenguaje sencillo y accesible, el manual incluye explicaciones detalladas y elementos visuales para facilitar la comprensión de los lectores. Esto, con la finalidad de que sea comprensible para todos los usuarios, independientemente si cuentan con un nivel técnico. Incluye explicaciones detalladas que desglosan cada paso del proceso de operación y mantenimiento, lo cual facilita la asimilación de la información y asegura que los usuarios puedan seguir las instrucciones sin dificultad.

Además, el manual utiliza elementos visuales como gráficos y diagramas para reforzar la comprensión. Estos recursos didácticos ayudan a ilustrar conceptos complejos y permiten a los lectores visualizar mejor los procedimientos, haciendo que el aprendizaje sea más interactivo y efectivo.

## **Elementos visuales**

Se incluyeron imágenes en el manual, debido a que cumplen varias funciones educativas importantes. En primer lugar, captan la atención del lector, estimulando su interés en el contenido y motivándolo a continuar leyendo. En segundo lugar, facilitan la comprensión de los conceptos al proporcionar ejemplos visuales claros que complementan las explicaciones textuales.

Además, las imágenes ayudan a romper la monotonía del texto, ofreciendo un contraste visual que mantiene el interés del lector. También cumplen un papel importante en la memorización de la información, ya que las representaciones visuales tienden a ser más memorables que las palabras solas.

## **Revisión Exhaustiva**

Se llevaron a cabo múltiples revisiones del manual para asegurar que el contenido sea preciso y completo. Esto, permitió identificar y corregir errores, así como hacer ajustes necesarios para que se mejore la claridad y efectividad de las instrucciones. Con el propósito que el manual cumpliera con los objetivos establecidos y proporcionara una guía confiable para los operadores de la planta.

Durante el proceso de revisión, se consultaron expertos y se realizaron pruebas de campo para validar la información. Esto aseguró que las directrices incluidas en el manual fueran prácticas y aplicables en situaciones reales, ofreciendo así una herramienta valiosa para el mantenimiento y operación eficiente de la planta de tratamiento de agua potable.

## **Guía técnica**

La guía técnica de operaciones y mantenimiento es un documento detallado que explica cómo operar y mantener una planta de tratamiento de agua potable segura y eficiente. Esta guía proporciona información específica y práctica que es esencial para garantizar que todas las actividades que son para la operación y mantenimiento se realicen correctamente.

Además, la guía técnica establece procedimientos estandarizados que ayudan a mantener la consistencia en la operación de la planta. Al seguir estos procedimientos, se asegura que la planta funcione de manera óptima, minimizando riesgos y mejorando la calidad del agua tratada.

## **Recopilación de información**

Se reunió toda la información relevante sobre la planta de tratamiento de agua potable, incluyendo documentos antiguos para la operación de los procesos, esquemas de proceso, normas y regulaciones aplicables. Así también, esta recopilación de información es fundamental para construir una guía completa y precisa que refleje las necesidades y características específicas de la planta.

Se revisaron documentos históricos y registros de mantenimiento para identificar posibles problemas recurrentes y áreas de mejora. Esta información proporcionó una base sólida para desarrollar procedimientos que aborden de manera efectiva los desafíos operativos y de mantenimiento.

## **Definición del alcance y propósito**

Se estableció un alcance y propósito claros, definiendo los objetivos y las metas que se esperan lograr con la implementación de la guía. Es importante que se cubra todos los aspectos necesarios y proporcione una dirección clara para los usuarios.

Al definir el alcance y propósito, esto ayudó a identificar las áreas clave que se debieron abordar en el documento, lo cual incluyó la identificación de procedimientos, la asignación de responsabilidades y se mencionó los estándares de calidad para la operación y mantenimiento de la planta.

## **Redacción del contenido**

El contenido de la guía se redactó de manera clara, concisa y precisa, utilizando un lenguaje técnico adecuado para el público objetivo. Se incluyeron detalles específicos sobre los cálculos necesarios para determinar las dosis de cloración, asegurando que las instrucciones sean fáciles de seguir y aplicar.

Además de los cálculos, la guía proporciona instrucciones detalladas para cada procedimiento de operación y mantenimiento. Esto incluye pasos específicos, recomendaciones de mejores prácticas y precauciones de seguridad, todo presentado de manera lógica y estructurada para facilitar su comprensión y aplicación.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Diagnóstico de la situación actual de la PTAP de la parroquia Rumipamba.

##### Resultados de la caracterización del afluente

En la tabla 8 se encuentran los resultados de la caracterización física, química y biológica de la fuente de agua que ingresa a la PTAP las muestras fueron tomadas el 27 de mayo del 2024. Los análisis correspondientes se llevaron a cabo durante la semana del 27 al 31 de mayo de 2024.

Los datos corresponden a los parámetros mencionados en la tabla 2, que se evaluaron en el agua cruda que es utilizada para potabilizarla en la PTAP de “Rumipamba” cantón Rumiñahui.

La selección de estos parámetros es conforme a las pautas establecidas en la tabla 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, que establece los criterios de calidad para las fuentes de agua destinadas al consumo humano y doméstico.

**Tabla 8.** Caracterización fisicoquímica y biológica del afluente a la PTAP “Rumipamba”.

RESULTADO DE CALIDAD DEL AFLUENTE				
Parámetro	Unidad	Resultado	CRITERIO DE CALIDAD (Acuerdo Ministerial No. 097-A)	Criterio de resultados
Aceites y Grasas	mg/L	<10	0,3	CUMPLE
Aluminio	mg/L	0,02	0,2	CUMPLE
Arsénico	mg/L	<0,005	0,1	CUMPLE
Bario	mg/L	15	1	NO CUMPLE
Cobre	mg/L	0,01	2	CUMPLE
Coliformes totales	Número/100 mL	92	1000	CUMPLE
Coliformes fecales	Número/100 mL	36	1000	CUMPLE
Color	Unidades de Platino-Cobalto	45	75	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0,011	0,05	CUMPLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	-	<2	-

**Tabla 8.** Caracterización fisicoquímica y biológica del afluente a la PTAP “Rumipamba”.  
(Continuación)

<b>RESULTADO DE CALIDAD DEL AFLUENTE</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>CRITERIO DE CALIDAD (Acuerdo Ministerial No. 097-A)</b>	<b>Criterio de resultados</b>
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	3	<4	CUMPLE
Hierro total	mg/L	0,58	1	CUMPLE
Hierro ferroso	mg/L	0,19	1	CUMPLE
Nitratos (como NO <sub>3</sub> )	mg/L	0,7	50	CUMPLE
Nitritos	mg/L	0,006	0,2	CUMPLE
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	0,07	-	-
Potencial Hidrógeno	unidades de pH	6,3	6-9	CUMPLE
Sólidos disueltos totales	mg/L	156	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	8	-	-
Sulfatos	mg/L	0	500	CUMPLE
Tensoactivos	mg/L	0,03	-	-
Turbiedad	NTU	4,13	100	CUMPLE
Giardia	Número de quistes/L	Ausencia	-	-

La mayoría de los parámetros medidos se ajustan a los límites establecidos por el Acuerdo Ministerial No. 097-A, indicando que el agua utilizada en la PTAP de “Rumipamba” es adecuada para la potabilización. Sin embargo, el parámetro de bario excede en 15 veces el nivel permitido por la normativa, establecido en 1 mg/L.

De acuerdo con los resultados, la presencia de bario en concentraciones superiores a la permitida puede representar riesgos para la salud y afectar la eficiencia del proceso de potabilización. Por lo tanto, es necesario implementar tratamientos adicionales para reducir este contaminante a niveles aceptables.

La tabla 9 muestra la caracterización de la muestra del afluente que ingresa a la planta. La muestra fue recolectada el 10 de junio de 2024, después de una intensa lluvia en el sector, Se analizaron los parámetros críticos necesarios para las pruebas de jarras, incluyendo mediciones detalladas de color, pH y turbidez. Estos resultados son fundamentales para evaluar la efectividad del proceso de coagulación y floculación.



**Tabla 9.** Resultados de la calidad del afluente para prueba de jarras.

<b>RESULTADOS DE LA CALIDAD DEL AFLUENTE</b>				
<b>Fecha</b>	10/6/2024	<b>Código</b>	APR	
<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límite permitido Acuerdo Ministerial No. 097-A</b>	<b>Unidades</b>	<b>Criterio de resultado</b>
pH	8,04	6-9	Unidades pH	CUMPLE
Turbidez	4,91	100	NTU	CUMPLE
Color	45	75	Pt-Co	CUMPLE
Bario	15	1	mg/L	CUMPLE
Hierro Total	0,18	1	mg/L	CUMPLE
Aluminio	0,02	0,2	mg/L	CUMPLE

Los resultados muestran que el pH y la turbidez del afluente cumplen con los límites permitidos, determinando que el agua es relativamente limpia y tiene una acidez/alcalinidad adecuada.

### **3.2 Evaluación de los procesos utilizados para la potabilización del agua para proponer métodos de desinfección efectivos y mejorar la calidad del recurso hídrico**

#### **Localización de la Planta de tratamiento de agua potable “Rumipamba” cantón Rumiñahui.**

La (PTAP) planta de tratamiento de agua potable “Rumipamba” se encuentra en la comunidad de La Moca, que forma parte del Cantón Rumiñahui en Pichincha. Esta instalación está localizada a una distancia de aproximadamente 15 kilómetros de Sangolquí, está localizada al noroeste de la provincia. La posición estratégica de la planta en La Moca permite un acceso eficiente a las fuentes de agua locales, facilitando su captación y tratamiento.



**Figura 1.** Infraestructura de PTAP de “Rumipamba”

### **Funcionamiento de la PTAP de la parroquia Rumipamba.**

La Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) recibe los caudales provenientes de una de las vertientes del Rio Pita, suministrando a la instalación un caudal diseñado de 6 L/s.

El agua entra a la planta a través de un canal que la lleva al desarenador, donde la velocidad del flujo se reduce, permitiendo que la arena y grava se depositen por gravedad. Luego, el agua pasa a la etapa de coagulación, en la cual, se agrega sulfato de aluminio en un tanque mezclador. Esta sustancia, conocida como coagulante, posee una carga positiva que neutraliza la carga negativa de las partículas en suspensión en el agua (arcilla, materia orgánica, bacterias). Esta neutralización de cargas hace que las partículas dejen de repelerse entre sí. El mezclador tiene deflectores que crean turbulencia, asegurando que el coagulante se disperse rápida y uniformemente, provocando colisiones entre las partículas ahora neutralizadas. El agua coagulada fluye hacia el floculador, un tanque largo dividido en cámaras por paredes de concreto. Estas paredes están dispuestas en un patrón de zigzag, obligando al agua a girar suavemente alrededor de ellas. Este movimiento lento y constante, impulsado solo por la gravedad, hace que las partículas neutralizadas choquen y se peguen entre sí, formando grupos más grandes llamados flóculos. A medida que el agua avanza por las cámaras, la velocidad disminuye gradualmente, permitiendo que los flóculos crezcan sin romperse. Al final del floculador, los flóculos son lo suficientemente grandes y pesados como para sedimentarse fácilmente.

Tras la sedimentación y filtración, el agua pasa a la etapa crítica de desinfección. Desinfección con Hipoclorito de Calcio: La planta utiliza hipoclorito de calcio ( $Ca(ClO)_2$ ) en forma de gránulos para la desinfección. Este compuesto se elige por su alta concentración de cloro disponible (65-70%) y su estabilidad en almacenamiento.

El esquema de procesos de la PTAP "Rumipamba" se muestra en la Figura 2. Según la descripción de Romero (1999), la PTAP funciona como planta modular cuyo propósito principal es eliminar color, turbiedad, metales y microorganismos presentes en el agua sin tratar.



**Figura 2.** Diagrama de bloques del funcionamiento de la PTAP "Rumipamba".

### Resultados de la Prueba de jarras coagulación - floculación

Las tablas 10 y 11 presentan los resultados de las dos pruebas de jarras, realizados mediante una simulación que replica las condiciones de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) "Rumipamba". Dado que cada experimento se efectuó en circunstancias distintas, se observan variaciones en los resultados. En la discusión, se examinan las razones de la selección de las dosis óptimas para cada experimento.

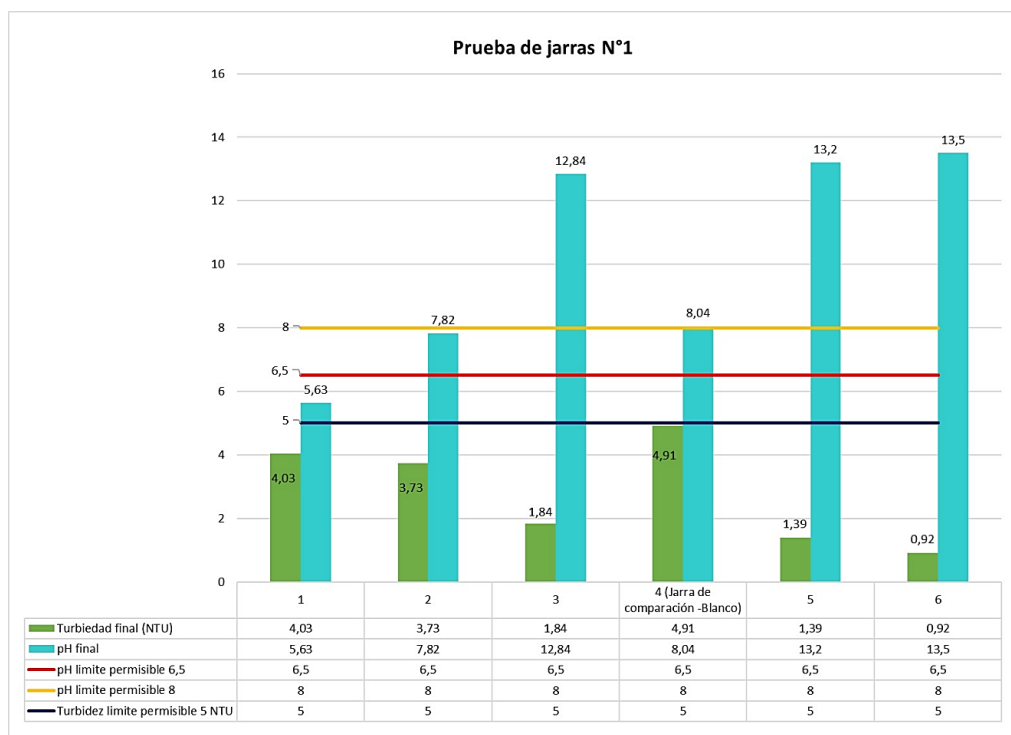
**Tabla 10.** Resultados prueba de jarras N°1 coagulación – floculación.

Prueba de jarras N°1						
Fecha:	10/62024			Código	APR	
pH inicial	8,04	Color inicial (Pt-Co)	45	Turbiedad inicial (NTU)	4,91	
Coagulante	PAC solido 30%	Floculante	Catiónico	Estabilizador de pH	Sosa Cáustica	
Reactivos químicos	Numero de jarras					
	1	2	3	4 (Jarra de comparación - Blanco)	5	6
Estabilizador de pH (mg/L)	230	230	230	-	230	230
Coagulante (mg/L)	1300	1200	1000	-	500	300
Floculante (mL/L)	5	5	5	-	5	5
Índice de Willcomb	2	6	10	0	10	10

**Tabla 10.** Resultados prueba de jarras N°1 coagulación – floculación. (Continuación)

Prueba de jarras N°1						
Reactivos químicos	Numero de jarras					
	1	2	3	4 (Jarra de comparación - Blanco)	5	6
pH final	5,63	7,82	12,84	8,04	13,2	13,5
Turbiedad final (NTU)	4,03	3,73	1,84	4,91	1,39	0,92
Remoción de turbiedad (%)	17,9	24,0	62,5	-	71,7	81,3
Hierro total (mg/L Fe)	0,19	0,18	0,15	0,18	0,06	0,04
Aluminio (mg/L)	0,52	0,48	0,4	0,02	0,17	0,13
Bario (mg/L)	-	-	8,66	15	2,18	-
Cumplimiento de AM097A	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE	-	NO CUMPLE	NO CUMPLE

Las jarras con mayores eficiencias en la remoción de turbiedad fueron la jarra 6 con 81.3% y la jarra 5 con un 71.7%. La jarra 4 se utilizó como punto de comparación, muestra los niveles iniciales de pH, turbidez, hierro, aluminio y bario. La jarra 1 no logró una disminución de turbidez y su eficiencia es de 17.9%, su pH final de 5.63 está fuera del intervalo admisible para agua de consumo humano que es de 6.5-8.0 según la INEN 1108 y un aumento en la concentración de aluminio de 0.02 mg/L a 0.52 mg/L sobrepasando el límite permisible según la NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 la concentración de aluminio debe ser hasta 0.2 mg/L. La jarra 2 tuvo un pH final aceptable de 7.82, pero una baja remoción de turbiedad de 24.63% y al igual que la jarra 1 hubo un aumento de la concentración de aluminio de 0.02 mg/L a 0.48 mg/L. La jarra 3 presentó una alta remoción de turbiedad del 62.5 %, pero su pH final de 12.84 está fuera del rango aceptable. Las jarras 5 y 6, aunque efectivas en la remoción de turbiedad, tienen pH finales de 13.2 y 13.5 respectivamente, ambos fuera del rango aceptable. En resumen, las jarras que 1, 3, 5 y 6 quedan descartadas por su baja efectividad, en cambio la jarra 2 por su pH aceptable, sirvió para ajustar las dosis en otra prueba de jarras para lograr un pH adecuado y mejorar la remoción de turbiedad y contaminantes.



**Figura 3.** Gráfica comparativa de la primera prueba de jarras.

En la tabla 11 se muestra una segunda prueba de jarras en la que se buscó probar una serie de concentraciones de coagulante. Se evaluó un rango más amplio de concentraciones, desde niveles muy altos hasta niveles más bajos, para observar cómo variaba la eficiencia de remoción de turbiedad.

**Tabla 11.** Resultados prueba de jarras N°2 coagulación – floculación.

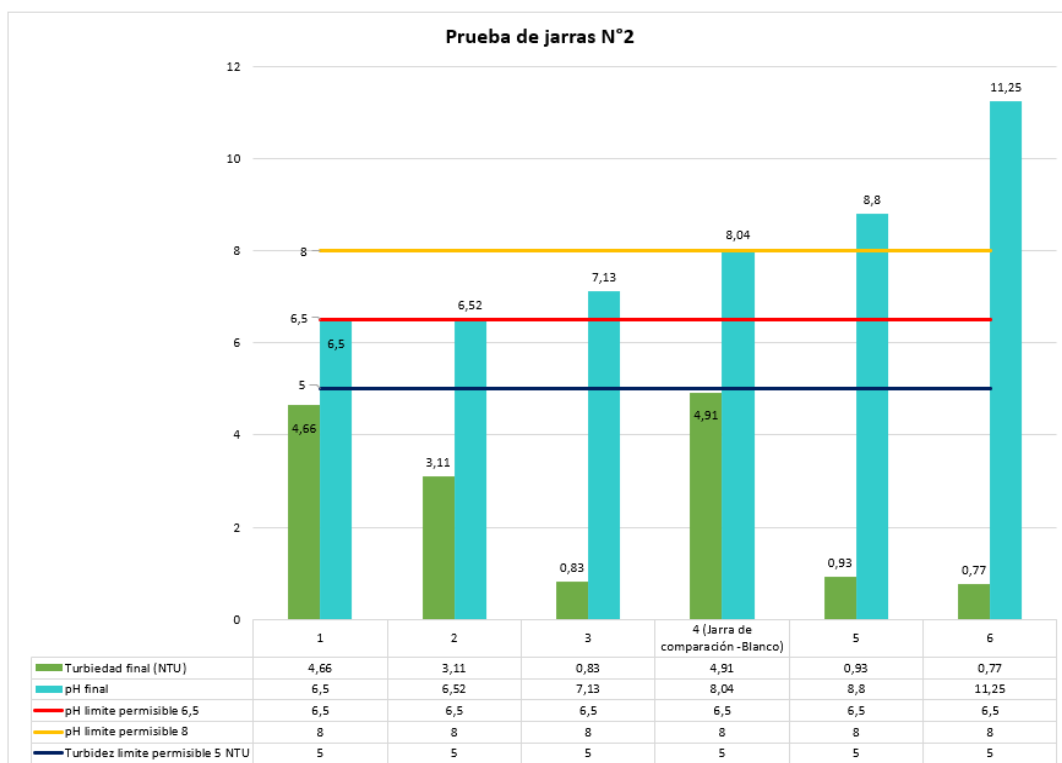
<b>Prueba de jarras N°2</b>						
<b>Fecha:</b>	10/6/2024			<b>Código</b>	APR	
<b>pH inicial</b>	8,04	<b>Color inicial (Pt-Co)</b>	45	<b>Turbiedad inicial (NTU)</b>	4,91	
<b>Coagulante</b>	PAC solido 30%	<b>Floculante</b>	Catiónico	<b>Estabilizador de pH</b>	Sosa Cáustica	
<b>Reactivos químicos</b>	<b>Numero de jarras</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4 (Jarra de comparación - Blanco)</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Estabilizador de pH (mg/L)</b>	230	230	230	-	230	230
<b>Coagulante (mg/L)</b>	1500	1000	450	-	300	250
<b>Floculante (mL/L)</b>	5	5	5	-	5	5

**Tabla 11.** Resultados prueba de jarras N°2 coagulación – floculación. (Continuación)

Prueba de jarras N°2						
Reactivos químicos	Numero de jarras					
	1	2	3	4 (Jarra de comparación - Blanco)	5	6
Índice de Willcomb	2	2	10	0	10	10
pH final	6,5	6,52	7,13	8,04	8,8	11,25
Turbiedad final (NTU)	4,66	3,11	0,83	4,91	0,93	0,77
Remoción de turbiedad (%)	5,1	36,7	83,1	-	81,1	84,3
Hierro total (mg/L Fe)	0,23	0,15	0,07	0,18	0,046	0,03
Aluminio (mg/L)	-	0,4	0,13	0,02	0,12	0,1
Bario (mg/L)	-	9,49	1,01	15	-	2,35
Cumplimiento de criterio	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	-	NO CUMPLE	NO CUMPLE

En la prueba de jarras N°2 se evaluaron diferentes combinaciones de coagulantes, floculantes y estabilizadores de pH para determinar su efectividad en la remoción de turbiedad, hierro, aluminio y bario del agua con pH inicial de 8.04, color inicial de 45 Pt-Co y turbiedad inicial de 4.91 NTU. Los resultados mostraron que las jarras 3, 5 y 6 lograron una remoción de turbiedad superior al 80%, destacando la jarra 6 con un 84.44%. Sin embargo, la jarra 1 mostró la menor eficiencia con solo un 5.86%. En cuanto a la remoción de hierro, las jarras 3, 5 y 6 redujeron significativamente la concentración a 0.07 mg/L, 0.046 mg/L y 0.03 mg/L, respectivamente. Respecto a la concentración de aluminio, la jarra 2 tuvo la mayor concentración con 0.4 mg/L, significativamente mayor que la concentración inicial de 0.02 mg/L, sobrepasando el límite de calidad que establece la NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Las jarras 3, 5 y 6 presentaron concentraciones de aluminio relativamente bajas y aceptables, con 0.13 mg/L, 0.12 mg/L y 0.1 mg/L respectivamente siendo menores al límite de calidad de 0.2 mg/L. En términos de pH final, las jarras 1, 2 y 3 lograron mantener el pH dentro del rango aceptable para el agua de consumo humano según la normativa INEN 1108 de 6.5 a 8.0. Las jarras 5 y 6, sin embargo, presentaron pH finales de 8.8 y 11.25, respectivamente, estando fuera del rango aceptable. Aunque la jarra 6 mostró la mayor remoción de turbiedad 84.44%, como se

mencionó anteriormente su pH está fuera del rango aceptable, lo cual podría limitar su aplicabilidad para el tratamiento de agua de consumo humano, por lo tanto, la jarra 3 resultó ser la más efectiva en términos de remoción de turbiedad 83.23%, remoción de hierro (0.07 mg/L), y remoción de bario de 15 mg/L a 1.01 mg/L siendo menor a la concentración final requerida de 1.3 mg/L que establece la INEN 1108, además mantuvo un pH final de 7.13 dentro del rango aceptable.



**Figura 4.** Gráfica comparativa de la segunda prueba de jarras.

Entre las pruebas de jarras N°1 y N°2, se consideraron los parámetros de pH, remoción de turbiedad y concentraciones de hierro, aluminio y bario, lo cual, la Jarra 3 de la Prueba de Jarras N°2 es la más efectiva. En esta jarra, se logró una efectividad de remoción de bario de 15mg/L a 1.01 mg/L, lo que representa un porcentaje de remoción del 93%. Esto demuestra una reducción significativa de este metal pesado en el agua tratada.

Por lo tanto, la Jarra 3 de la Prueba de Jarras N°2 se selecciona como la más eficiente y efectiva para el tratamiento de agua en base a los criterios evaluados con una concentración de coagulante de 450 mg/L, floculante de 5mL/L y un estabilizador de pH de 230 mg/L.

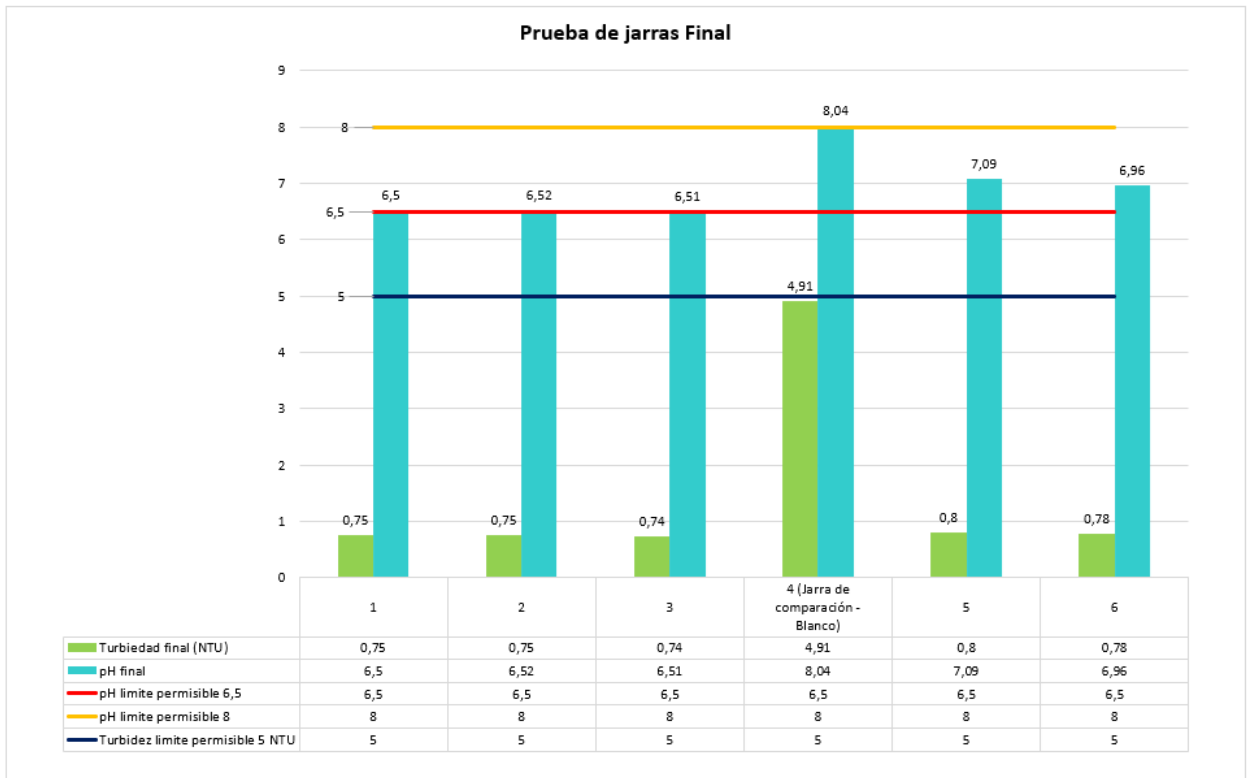
A continuación, en la tabla 12, se observa los resultados de la prueba de jarras final utilizando una dosis óptima de coagulante PAC en cinco repeticiones (jarras 1, 2, 3, 5 y 6),

para monitorear que la dosis elegida de la prueba de jarras 2 siga cumpliendo con el rango de aceptabilidad.

**Tabla 12.** Resultados prueba de jarras final coagulación - floculación

Prueba de jarras Final						
Fecha:	11/6/2024			Código	APR	
pH inicial	8,04	Color inicial (Pt-Co)	45	Turbiedad inicial (NTU)	4,91	
Coagulante	PAC solido 30%	Floculante	Catiónico	Estabilizador de pH	Sosa Cáustica	
Reactivos químicos	Numero de jarras					
	1	2	3	4 (Jarra de comparación - Blanco)	5	6
Estabilizador de pH (mg/L)	230	230	230	-	230	230
Coagulante (mg/L)	450	450	450	-	450	450
Floculante (mL/L)	5	5	5	-	5	5
Índice de Willcomb	10	10	10	0	10	10
pH final	6,5	6,52	6,51	8,04	7,09	6,96
Turbiedad final (NTU)	0,75	0,75	0,74	4,91	0,8	0,78
Remoción de turbiedad (%)	84,7	84,7	84,9	-	83,7	84,1
Hierro total (mg/L Fe)	0,06	0,06	0,059	0,18	0,064	0,062
Aluminio (mg/L)	-	-	0,11	0,02	0,124	0,121
Bario (mg/L)	0,93	0,932	0,927	15	1,01	0,99
Cumplimiento de criterio	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	-	CUMPLE	CUMPLE





**Figura 5.** Gráfica comparativa de la prueba de jarras final.

Los resultados de la prueba de jarras indican que el uso del coagulante PAC sólido al 30%, junto con el floculante y el estabilizador de pH, fue efectivo en reducir significativamente la turbidez del agua, con remociones superiores al 84%. Los valores de pH finales fueron apropiados, ubicándose en un intervalo aceptable para el procesamiento de agua potable. Además, las concentraciones de hierro y aluminio permanecieron bajas, lo que indica una buena eficacia del tratamiento en la eliminación de estos elementos metálicos. En general, los resultados sugieren que las dosis empleadas son efectivas y cumplen con los estándares normativos para la calidad del agua tratada.

### Resultados de la Prueba de jarras para Desinfección

Se llevaron a cabo dos pruebas de jarras para evaluar la desinfección del agua. La primera prueba utilizó hipoclorito de sodio y la segunda prueba utilizó hipoclorito de calcio. Ambas pruebas se realizaron para determinar la efectividad de cada sustancia en la desinfección del agua. En el ensayo, se utilizaron cinco jarras con diferentes concentraciones iniciales (Co) y volúmenes de solución madre (Vs).

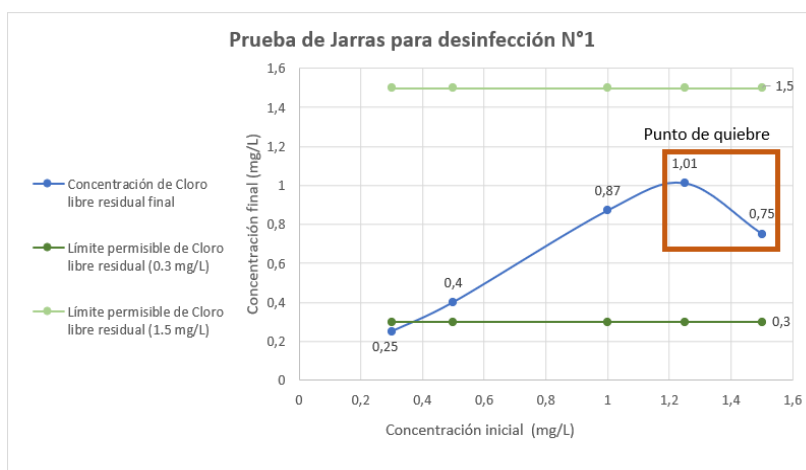
En la tabla 13 se muestran los datos resultantes de la prueba de jarras para desinfección utilizando un agente desinfectante de hipoclorito de sodio. Para las distintas dosis del agente desinfectante, se elaboró una disolución concentrada, que posteriormente se

incorporó a las jarras que contenían 1000 mL de muestra. La cantidad agregada de desinfectante se determinó según la concentración inicial de hipoclorito de sodio, que osciló entre 0.3 mg/L y 1.5 mg/L. El pH inicial de las muestras osciló entre 6.5 y 7.09, mientras que el pH final varió de 6.63 a 7.11.

**Tabla 13.** Resultados de la Prueba de jarras N°1 Desinfección.

Prueba de Jarras para desinfección N°1							
Fecha del ensayo	11/6/2024			Desinfectante	Hipoclorito de sodio		
N° de Jarra	pH inicial	Co (mg/L)	Vs madre aforo (mL)	V muestra aforo (mL)	V aforo (mL)	Cf (mg/L)	pH final
1	6,5	1,5	7,2	992,8	1000	0,75	6,63
2	6,52	1,25	6	994	1000	1,01	6,75
3	6,51	1	4,8	995,2	1000	0,87	6,87
4	7,09	0,5	2,4	997,6	1000	0,4	6,99
5	6,96	0,3	1,4	998,6	1000	0,25	7,11

Los resultados del análisis de cloro libre residual que se observan en la tabla 13 mostraron que cuatro de las cinco jarras cumplieron con los criterios establecidos por la norma INEN 1108, que especifica un rango de 0.3 a 1.5 mg/L de cloro libre residual. La jarra 5 no cumplió con los criterios, presentando una concentración de cloro libre residual menor al límite inferior, con un valor de 0.25 mg/L.



**Figura 6.** Curva obtenida en la prueba de jarras para desinfección N° 1.

En la figura 6, se puede apreciar que con una concentración inicial de cloro de 0.3 mg/L, la concentración final de cloro libre residual es de 0.25 mg/L. Conforme se incrementa la concentración inicial de cloro a 0.5 mg/L, la concentración final aumenta a 0.4 mg/L. Este aumento continúa de manera casi lineal hasta una concentración inicial de

aproximadamente 1.0 mg/L, donde la concentración final de cloro libre residual alcanza 0.87 mg/L. A partir de este punto, la curva muestra un punto de quiebre en torno a una concentración inicial de 1.25 mg/L debido que desde ahí existe un cambio de comportamiento, donde la concentración final de cloro libre residual llega a su máximo de 1.01 mg/L. Sin embargo, al aumentar la concentración inicial de cloro a 1.5 mg/L, la concentración final de cloro libre residual desciende a 0.75 mg/L.

Este comportamiento sugiere que existe un umbral óptimo de concentración inicial de cloro, este caso, la dosis óptima parece estar alrededor de 1.0 a 1.25 mg/L de cloro inicial, donde se observa la mayor concentración de cloro libre residual.

En la tabla 14 se presentan los resultados del análisis de cloro correspondientes a la prueba de desinfección 1 y se comparan con los límites de la norma NTE INEN 1108.

**Tabla 14.** Resultados del análisis de cloro de la prueba N° 1.

Resultados de análisis de cloro				
N° de Jarra	Cloro libre residual	Unidades	INEN 1108	Cumplimiento de criterio
1	0,75	mg/L	0,3 a 1,5	CUMPLE
2	1,01	mg/L	0,3 a 1,5	CUMPLE
3	0,87	mg/L	0,3 a 1,5	CUMPLE
4	0,4	mg/L	0,3 a 1,5	CUMPLE
5	0,25	mg/L	0,3 a 1,5	NO CUMPLE

En la tabla 15 se presentan los resultados del análisis de hierro y aluminio final correspondientes a la prueba de desinfección 1 y se comparan con los límites de la NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

**Tabla 15.** Resultados del análisis de metales de la prueba N°1

Resultados de metales						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994
Hierro final (mg/L)	0,052	0,043	0,03	0,029	0,027	0,2
Aluminio final (mg/L)	0,07	0,081	0,092	0,103	0,114	0,3
Cumplimiento de criterio	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	-

Los resultados del análisis de metales se pueden observar en la tabla 15, se evaluaron las concentraciones finales de hierro y aluminio en las muestras tratadas, y todas las jarras cumplieron con los criterios establecidos, con el aluminio siendo inferior al límite de 0.2

mg/L y el hierro inferior al límite de 0.3 mg/L según la NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

En la prueba de desinfección N°1 se determinó que la dosis óptima de desinfectante es 1 mg/L, correspondiente a la jarra 3. Esta selección se basó en los resultados de cloro libre residual, que no mostraron cambios significativos en el comportamiento de reacción, y en que los niveles de concentración de metales medidos cumplieron con los estándares de calidad según con la normativa con la cual se comparó.

En la tabla 16 se registran los datos resultantes de la prueba de jarras para desinfección N°2 utilizando un agente desinfectante de hipoclorito de calcio, con concentraciones similares a la prueba anterior

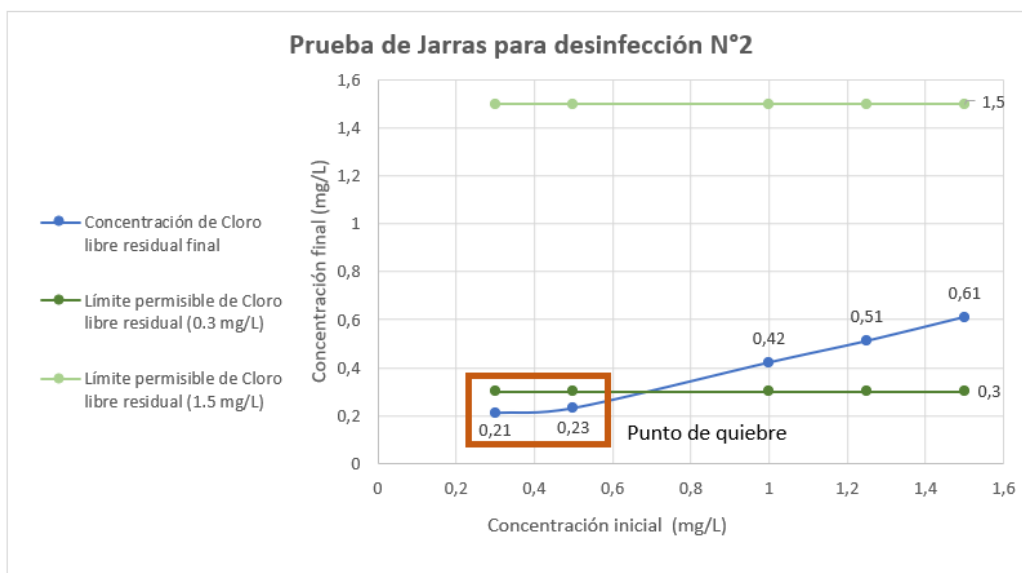
**Tabla 16.** Resultados de la Prueba de jarras N°2 Desinfección.

Prueba de Jarras para desinfección N°2							
Fecha del ensayo	12/6/2024			Desinfectante	Hipoclorito de calcio		
N° de Jarra	pH inicial	Co (mg/L)	Vs madre aforo (mL)	V muestra aforo (mL)	V aforo (mL)	Cf (mg/L)	pH final
1	6,54	1,5	18,99	981,01	1000	0,61	6,86
2	6,58	1,25	15,82	984,18	1000	0,51	6,67
3	6,53	1	12,66	987,34	1000	0,42	7,06
4	6,69	0,5	6,33	993,67	1000	0,23	6,73
5	6,85	0,3	3,79	996,21	1000	0,21	7,1

Se trabajó con un pH inicial entre 6.54 y 6.85, valores obtenidos tras realizar una prueba de jarras de coagulación y floculación para asegurar que el agua estuviera libre de contaminantes sólidos. Las jarras 1, 2 y 3 demostraron ser efectivas, cumpliendo con el criterio de cloro libre residual de la norma INEN 1108 (0.3-1.5 mg/L). La jarra 1, con una concentración inicial de 1.5 mg/L, alcanzó 0.61 mg/L de cloro libre residual; la jarra 2, con 0.51 mg/L; y la jarra 3, con 1 mg/L, obtuvo 0.42 mg/L, siendo aptas para su uso.

Por el contrario, las jarras 4 y 5 no cumplieron con los criterios de cloro libre residual, presentando concentraciones finales de 0.23 mg/L y 0.21 mg/L, respectivamente, por debajo del mínimo requerido de 0.3 mg/L, ninguna logró el nivel necesario para una desinfección efectiva. Esto sugiere que las dosis de hipoclorito de calcio en estas dos jarras fueron insuficientes para mantener una desinfección adecuada del agua.

En la figura 7 se muestra la curva de cloro libre residual y el punto de quiebre señalando la concentración donde existe cambios en el comportamiento de reacción.



**Figura 7.** Curva obtenida en la prueba de jarras para desinfección N° 2.

Según la curva observada en la figura 7, el punto de quiebre se encuentra por debajo del límite permitido de cloro libre residual establecido en la normativa INEN 1108, que debe estar entre 0.3 y 1.5 mg/L. Por esta razón, se decidió que la dosis óptima es la de la primera jarra, garantizando así un cumplimiento adecuado de los estándares de calidad.

En la tabla 17 se registran los resultados del análisis de cloro correspondientes a la prueba de desinfección 2 y se comparan con los límites de la norma NTE INEN 1108.

**Tabla 17.** Resultados del análisis de cloro de la prueba N° 2.

Resultados de análisis de cloro				
N° de Jarra	Cloro libre residual	Unidades	INEN 1108	Cumplimiento de criterio
1	0,61	mg/L	0,3 a 1,5	CUMPLE
2	0,51	mg/L	0,3 a 1,5	CUMPLE
3	0,42	mg/L	0,3 a 1,5	CUMPLE
4	0,23	mg/L	0,3 a 1,5	NO CUMPLE
5	0,21	mg/L	0,3 a 1,5	NO CUMPLE

Según los resultados de análisis de metales mostrados en la tabla 18, se observó que todas las jarras cumplieron con los criterios establecidos para las concentraciones de hierro y aluminio. Las concentraciones de hierro final variaron entre 0.02 mg/L y 0.04 mg/L, y las de aluminio final oscilaron entre 0.053 mg/L y 0.086 mg/L. Estos valores están dentro de los límites permitidos, indicando que la desinfección no introdujo niveles perjudiciales de estos metales en el agua tratada. Por tanto, todas las jarras son seguras en cuanto a los

niveles de hierro y aluminio. Sin embargo, el nivel de cloro libre residual es lo que no permite descartar las dos últimas jarras.

En la tabla 18 se presentan los resultados del análisis de hierro y aluminio final correspondientes a la prueba de desinfección 2 y se comparan con los límites de la NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

**Tabla 18.** Resultados del análisis de metales de la prueba N°2

Resultados de metales						
N° de Jarra	1	2	3	4	5	NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994
Hierro final (mg/L)	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03	0,2
Aluminio final (mg/L)	0,054	0,059	0,086	0,053	0,069	0,3
Cumplimiento de criterio	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	-

Según lo mencionado, la dosis óptima para la desinfección varía según el tipo de desinfectante utilizado. Para el hipoclorito de sodio, la concentración utilizada en la jarra 3 de 1 mg/L se puede considerar como la dosis óptima. Esta dosis demostró ser eficaz por varias razones importantes, en primer lugar, el pH final es de 6.51 que se mantuvo dentro del rango normativo de 6.5-8.0, sin verse afectado significativamente. Además, el cloro libre residual de 0.87 mg/L cumple con la normativa para agua potable INEN 1108 que requiere que este dentro del rango de 0.3-1.5 mg/L. La oxidación de metales fue aceptable, con concentraciones finales de hierro de 0.03 mg/L y aluminio con 0.092 mg/L dentro de los rangos de aceptabilidad de la NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Finalmente, esta dosis demostró ser eficaz para la desinfección, logrando una rápida homogenización en el agua.

Por otro lado, para el hipoclorito de calcio, la concentración más efectiva se observó también en la jarra 1 con concentración inicial de 1.5 mg/L, que demostró varios beneficios significativos. El pH final fue de 6.54, se mantuvo dentro del rango de aceptabilidad, y el cloro libre residual con 0.61 mg/L se encuentra dentro del rango aceptable según la normativa INEN 1108. Además, se observó una oxidación de metales fue significativa, reduciendo las concentraciones de hierro con 0.04 mg/L y aluminio con 0.054 mg/L a niveles aceptables, disminuyendo así su contaminación en el agua.

En conclusión, en ambos casos, la concentración se mantuvo dentro del rango de 1 a 1.5 mg/L demostrando ser las más efectivas para lograr una desinfección adecuada mientras se mantienen los parámetros de calidad del agua dentro de los rangos aceptables. Estas

dosis proporcionan un equilibrio óptimo entre la eficacia de la desinfección y el mantenimiento de las propiedades químicas del agua tratada.

### **3.3 Elaboración de un manual y guía técnica que proporcione los procedimientos necesarios para la operación y mantenimiento eficiente de la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia Rumipamba.**

Para un manejo adecuado de la operación, mantenimiento y administración de la PTAP de Rumipamba, se logró desarrollar un manual detallado con instrucciones paso a paso y elementos visuales para la correcta colocación de la dosis óptima, determinada mediante la prueba de jarras, tanto para los procesos de coagulación-floculación como de desinfección.

El manual incluye recomendaciones de seguridad para el uso de reactivos, especificando los materiales necesarios y el equipo de protección personal (EPP) que debe utilizar el operador. Así mismo, se presenta las actividades que detalla el mantenimiento y limpieza de todos los procesos de la PTAP, indicando la frecuencia con que deben realizarse estas tareas.

Por su parte, la guía técnica ofrece una explicación más exhaustiva con conceptos generales para comprender la función de cada proceso. Se describen en detalle las aplicaciones de la dosis óptima y los fundamentos para su determinación, incluyendo los cálculos necesarios para ajustar las cantidades en caso de requerir optimización. La guía también especifica las actividades de limpieza y mantenimiento de cada operación, e incluye hojas de seguridad para cada reactivo que el operador manejará.

Estos documentos fueron elaborados con el propósito de facilitar la comprensión tanto de los operadores actuales como para personal que se incorporé posteriormente, asegurando una fácil adaptación a la PTAP. Además, la guía técnica es esencial para futuras mejoras en los procesos de la planta de tratamiento de agua potable, permitiendo ajustes en las dosificaciones óptimas debido a cambios en el tamaño del tanque de dosificaciones.

#### **Representación del manual**

Este manual didáctico proporciona una guía clara y sencilla para comprender y operar la planta de tratamiento de agua potable, facilitando el aprendizaje paso a paso.

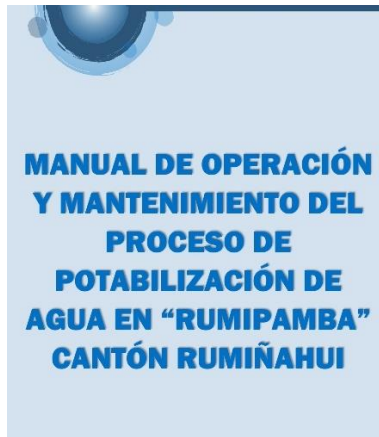


Figura 8. Portada del Manual de operación.

**Contenido del manual:**

- Al inicio, se observa el EPP que debe llevar el operador antes de manejar la PTAP.
- En otra sección, se detalla la operación y manejo de reactivos para la dosificación de coagulación y floculación. Se especifica la cantidad exacta y los pasos sencillos, con imágenes del operador realizando cada actividad.
- Para cada proceso de tratamiento, se detallan paso a paso las actividades de operación.
- Para el proceso de desinfección, se detallan las dosis exactas y se incluyen elementos visuales sobre la preparación y aplicación del desinfectante al sistema.
- Para cada proceso de tratamiento, se incluyeron tablas de actividades de mantenimiento y el periodo en que deben realizarse.



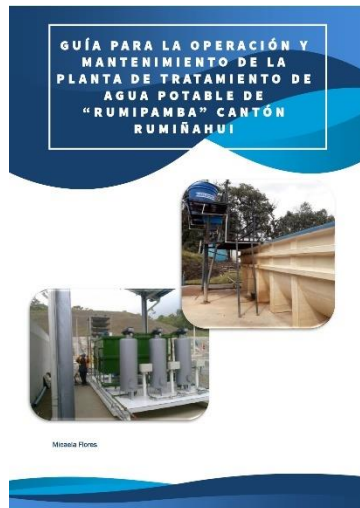
Figura 9. Contenido del manual.

Para visualizar de mejor manera el manual para la operación y manejo de la PTAP revirar el Anexo IX.



## Representación de la guía técnica

Esta guía técnica ofrece instrucciones detalladas para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable, asegurando eficiencia y seguridad en cada etapa del proceso.



**Figura 10.** Portada de la Guía técnica de la operación y manejo de la PTAP.

### Contenido:

- En la primera sección de la guía da a conocer el objetivo de la guía, posterior a eso se implementa conceptos generales que explican los principios básicos del tratamiento de agua potable, incluyendo términos y definiciones clave. Este apartado proporciona el fundamento teórico necesario para comprender los procesos y operaciones descritos en el resto de la guía.
- Cada proceso de tratamiento tiene una sección en la cual se describen detallando las diferentes operaciones de la planta, como coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, incluyendo una explicación de su propósito dentro de la planta, además se colocaron las actividades de operación y mantenimiento respectiva para cada proceso de tratamiento describiendo las tareas diarias y periódicas que deben realizar los operadores para mantener la planta en funcionamiento óptimo.
- En la sección de coagulación y floculación se proporcionan métodos y fórmulas para calcular las dosificaciones exactas de los reactivos utilizados en el tratamiento del agua. Este apartado asegura que las cantidades aplicadas sean precisas para lograr la calidad deseada del agua.

- Al final del documento se coloraron las hojas de seguridad de los reactivos incluyendo información sobre las características de los reactivos químicos utilizados en la planta, así como las precauciones de seguridad que deben seguir los operadores.



Figura 11. Contenido de Guía técnica.

Para visualizar de mejor manera la guía técnica para la operación y manejo de la PTAP revirar el Anexo X.

## 4 CONCLUSIONES

- El análisis del afluente que ingresa a la Planta de Tratamiento de Agua Potable de "Rumipamba" reveló que la mayoría de los parámetros cumplen con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial No. 097-A. Sin embargo, se detectó un problema crítico con la concentración de bario, que excede significativamente el límite permitido de 1 mg/L, llegando a niveles de hasta 15 mg/L. Este hallazgo es de suma importancia, ya que el bario en altas concentraciones puede representar riesgos para la salud y afectar la eficiencia del proceso de potabilización.
- Las pruebas de jarras demostraron la efectividad del policloruro de aluminio (PAC) como coagulante. Se logró una remoción de turbidez de hasta 84.9% con una dosis óptima de 450 mg/L de PAC sólido al 30%. Este tratamiento también fue eficaz en la reducción de hierro y aluminio a niveles aceptables. El pH final se mantuvo dentro del rango adecuado para el consumo humano (6.5-8.0), lo que indica un buen control del proceso.
- Se evaluaron dos agentes desinfectantes, el hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio. Ambos demostraron ser efectivos cuando se aplicaron en dosis adecuadas. Las concentraciones iniciales entre 1.2 y 1.5 mg/L produjeron niveles de cloro residual dentro del rango requerido por la norma INEN 1108 (0.3-1.5 mg/L). Sin embargo, las dosis más bajas (0.3-0.5 mg/L) no lograron mantener el nivel mínimo requerido de cloro residual, lo que subraya la importancia de una dosificación precisa.
- El proceso de tratamiento demostró ser efectivo en la reducción de las concentraciones de hierro y aluminio. Después del tratamiento, estos metales se mantuvieron consistentemente por debajo de los límites establecidos, lo que indica que el proceso de coagulación-floculación y la desinfección no introducen niveles perjudiciales de estos metales en el agua tratada.
- El tratamiento logró una reducción sustancial en la concentración de bario, pasando de 15 mg/L en el agua cruda a aproximadamente 1 mg/L en el agua tratada. Aunque esta reducción es significativa, el nivel final aún está en el límite del criterio de calidad establecido. Esto sugiere que, si bien el tratamiento convencional es efectivo para reducir el bario, podría ser necesario considerar tratamientos adicionales o más específicos para garantizar una remoción más completa.
- El manual desarrollado para la operación de la PTAP de Rumipamba incluye directrices centradas en la seguridad del operador, ofreciendo recomendaciones precisas sobre el uso de reactivos, los materiales necesarios y el equipo de

protección personal (EPP). Este documento detalla las características de cada reactivo, indicando cómo y cuándo utilizarlos de manera segura, y especifica los tipos de EPP que deben emplearse, como guantes, gafas y trajes de protección. Asimismo, subraya los beneficios de adherirse a estas pautas, tales como la reducción de riesgos de accidentes y exposición a sustancias peligrosas, el manejo óptimo de las dosis de reactivos para asegurar la eficiencia del proceso y la garantía de un entorno de trabajo seguro y eficiente.

- La guía técnica proporciona información detallada sobre la optimización de las dosis y los cálculos necesarios para ajustes futuros, lo que permitirá mejoras continuas en los procesos. Con instrucciones precisas y metodologías claras para calcular y ajustar las cantidades de reactivos según las condiciones del sistema, la guía facilita su aplicación mediante ejemplos prácticos y casos de estudio. Entre sus beneficios destacan la mejora en la precisión de las dosis administradas, la eficiencia en el uso de recursos, la reducción de costos operativos, la minimización del impacto ambiental y el apoyo en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable. Además, promueve la capacitación continua del personal, asegurando que los operadores implementen mejoras de manera efectiva y mantengan la calidad del agua tratada según las normativas de salud pública.
- Los documentos están diseñados para facilitar la formación y adaptación tanto de los operadores actuales como del personal que se incorpore posteriormente, minimizando el tiempo de adaptación y mejorando la eficiencia operativa. Enfatizando la seguridad del operador, proporcionando recomendaciones claras sobre el uso de reactivos, los materiales necesarios y el equipo de protección personal (EPP).

## **5 RECOMENDACIONES**

- Dado que el bario fue el parámetro que más excedió los límites permitidos en el agua cruda, se recomienda establecer un programa de monitoreo intensivo para este elemento. Esto debería incluir: a) Muestreo diario del agua cruda y tratada para análisis de bario. b) Mapeo de la cuenca para identificar posibles fuentes naturales o antropogénicas de bario. c) Evaluación de la variabilidad estacional en las concentraciones de bario. d) Investigación de tecnologías adicionales específicas para la remoción de bario, como intercambio iónico o ósmosis inversa, en caso de que el tratamiento convencional no logre reducir consistentemente los niveles por debajo del límite permitido.

- Se recomienda realizar pruebas de jarras de forma regular (al menos mensualmente) para ajustar las dosis de productos químicos según las variaciones en la calidad del agua cruda. Esto es particularmente importante considerando que los parámetros del agua pueden cambiar debido a factores estacionales o eventos climáticos. Además, se sugiere explorar el uso de diferentes tipos de coagulantes y floculantes para encontrar combinaciones aún más efectivas o económicas.
- Mantener una dosis inicial de desinfectante entre 1.0-1.5 mg/L para asegurar un nivel adecuado de cloro residual en todo el sistema de distribución. Es crucial implementar un sistema de monitoreo continuo del cloro residual en puntos clave de la red de distribución. Esto permitirá ajustes en tiempo real de la dosis de desinfectante para mantener niveles óptimos y garantizar la seguridad microbiológica del agua.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuerdo Ministerial 097-A. (2015, noviembre 4). *Anexos de Normativa, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENT.* Gob.ec. [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento\\_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015\\_0.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf)

Arellano, M. A. (2022). *Planta de tratamiento de agua potable.* En M. Araque Arellano (Ed.), *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable* (pp. 41–90). Editorial Abya-Yala.

Artero, C. N. (2016). *Las organizaciones comunitarias de agua potable rural en América Latina: un ejemplo de economía substantiva.* Scielo.cl. [https://www.scielo.cl/pdf/polis/v15n45/art\\_09.pdf](https://www.scielo.cl/pdf/polis/v15n45/art_09.pdf)

Bordino, J. (2024, marzo 18). *Qué porcentaje de agua tiene la Tierra y su distribución.* Geoenciclopedia.com. <https://www.geoenciclopedia.com/que-porcentaje-de-agua-tiene-la-tierra-y-su-distribucion-886.html#:~:text=Aproximadamente%20el%2071%25%20de%20la%20superficie%20de%20la,mares%2C%20dejando%20solo%20un%202%2C5%25%20como%20agua%20dulce>

Cabezas, N. G. (2021, mayo 21). *La importancia del agua para el desarrollo en las zonas rurales.* Ayuda en Acción Ecuador. <https://ayudaenaccion.ec/blog/agua/agua-en-zonas-rurales/>.

Chulluncuy, N. C. (2011, mayo 23). *Tratamiento de agua para consumo humano.* Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>

Crittenden, J. C. (2012). *MWH's Water Treatment.* Academia.edu. [https://www.academia.edu/34924046/MWHs\\_Water\\_Treatment](https://www.academia.edu/34924046/MWHs_Water_Treatment)

Duan, J., & Gregory, J. (2002, mayo 20). *Coagulation by hydrolysing metal salts.* Academia.edu. [https://www.academia.edu/47743696/Coagulation\\_by\\_hydrolysing\\_metal\\_salts](https://www.academia.edu/47743696/Coagulation_by_hydrolysing_metal_salts)

Gómez, G. I. G. (1995). *MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUAS.* Edu.co. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55218/manualdeanalisisdeaguas.pdf?sequence=1>

Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., García, R., Universidad de Cartagena, & Servicio Nacional de Aprendizaje. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista Udca Actualidad & Divulgacion Cientifica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>

Hach. (2024). *Métodos y Procedimientos*. Hach.com. <https://latam.hach.com/colorimetros/colorimetro-dr900/family-downloads?productCategoryId=54617006119>

Hammer, M. J., & Hammer, M. J., Jr. (2008). *Water and Wastewater Technology (6th ed.)*. Pearson Prentice Hall.

Henze, M., Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008, septiembre). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. Iwaponline. <https://iwaponline.com/ebooks/book/59/Biological-Wastewater-Treatment-Principles>

Hernandez, F. (2012, junio 10). *Hoja de Seguridad Hipoclorito de Sodio al 5%*. Issuu. [https://issuu.com/hseqc4/docs/hipoclorito\\_de\\_sodio](https://issuu.com/hseqc4/docs/hipoclorito_de_sodio)

López, E. P. (2016). *AIREACIÓN EFICIENTE SEGURA Y ECONÓMICA DEL AGUA EN COLOMBIA Y EN EL MUNDO*. Edu.co. [http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/1362/1/Lopez\\_2016\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/1362/1/Lopez_2016_TG.pdf)

Mackenzie, D. L. (2010). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*. Zlib.pub. <https://zlib.pub/download/water-and-wastewater-engineering-design-principles-and-practice-685t57kc9k80?hash=05d055bdc5b078d4b1585c34310c6f92>

Mimenza, O. C. (2018, noviembre 30). *Las 15 propiedades físicas y químicas del agua*. pymOrganization. <https://psicologiyamente.com/miscelanea/propiedades-fisicas-quimicas-agua>

Mukashev, T. (2015, abril). *Water Treatment Facility Design*. Researchgate.net. [https://www.researchgate.net/publication/275390394\\_Water\\_Treatment\\_Facility\\_Design/link/553b53a70cf29b5ee4b675ec/download?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/publication/275390394_Water_Treatment_Facility_Design/link/553b53a70cf29b5ee4b675ec/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19)

Norma Oficial Mexicana 127-SSA1. (2021). *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua*. Fao.org. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/mex215630.pdf>

NTE INEN 1108. (2020, abril). *AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS - NTE INEN 1108 Sexta revisión*. Docplayer.Es. <https://docplayer.es/228762074-Nte-inen-1108-sexta-revision.html>

OMS. (2023, septiembre 13). *Agua para consumo humano*. Who.int. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Organización Meteorológica Mundial. (2012). *Glaciares y servicios ecosistémicos*. Wmo.int. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=7631](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7631)

Ortiz, L. C. (2019, septiembre 15). *Prueba de jarras*. Researchgate.net. [https://www.researchgate.net/publication/335826360\\_Prueba\\_de\\_jarras\\_jar\\_test](https://www.researchgate.net/publication/335826360_Prueba_de_jarras_jar_test)

Pavon, R. (2022, noviembre 24). *Características físicas y organolépticas*. Ambientum Portal Líder Medioambiente; AMBIENTUM. [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/caracteristicas\\_fisicas\\_y\\_organolepticas.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/caracteristicas_fisicas_y_organolepticas.asp)

Prado, D. (2013, abril 21). *Hoja de Seguridad Pac (Policloruro de Aluminio)*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/137196553/Hoja-de-seguridad-Pac-Policloruro-de-Aluminio>

Rodriguez, R. (2020, septiembre 17). *Hipoclorito de sodio: estructura, usos y fórmula*. Estudiando. <https://estudiando.com/hipoclorito-de-sodio-estructura-usos-y-formula/>

Rohli, R. V., & Vise, S. (2017). *Physical Geography: Earth Environments and Systems*. Academia.edu. [https://www.academia.edu/37333560/Physical\\_Geography\\_Earth\\_Environments\\_and\\_Systems](https://www.academia.edu/37333560/Physical_Geography_Earth_Environments_and_Systems)

Romero, J. A. (2000). *Purificación del Agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización Del Agua*. Academia.edu. [https://www.academia.edu/43327791/Romero\\_Rojas\\_Jairo\\_Alberto\\_Potabilizaci%C3%B3n\\_Del\\_Agua](https://www.academia.edu/43327791/Romero_Rojas_Jairo_Alberto_Potabilizaci%C3%B3n_Del_Agua)

Sánchez, A. (2013). *INSTRUCTIVO PARA CONFORMACIÓN Y LEGALIZACIÓN DE JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO; JUNTAS ADMINISTRADORAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL; Y, JUNTAS DE SEGUNDO Y TERCER GRADO”, Y EL “INSTRUCTIVO PARA CONFORMACIÓN Y LEGALIZACIÓN DE JUNTAS DE RIEGO Y/O DRENAJE.*



<http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/03-01IGC2016-INSTRUCTIVO.pdf>

Sandia, M. M. (2023, septiembre 29). *Hipoclorito de calcio: Aplicaciones en la desinfección y más*. IsiMyLo. <https://isimylo.com/hipoclorito-de-calcio-aplicaciones-en-la-desinfeccion-y-mas/>

United Nations. (2014). *Agua | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>.

Vázquez Rodríguez, G. A., Martínez Hernández, S., Iturbe Acosta, U., & Coronel Olivares, C. (2022). *Desinfección del agua: una revisión a los tratamientos convencionales y avanzados con cloro y ácido peracético*. Upv.es. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185469/Ocampo-RodriguezVazquez-RodriguezMartinez-Hernandez%20-%20Water%20disinfection%20a%20review%20of%20conventional....pdf?sequence=1>

Viessman, W., & Lewis, G. L. (2003). *Introduction to Hydrology (5th ed.)*. Prentice Hall.

## 7 ANEXOS

### ANEXO I. Certificado de originalidad Turnitin.

F\_AA\_236

**CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD  
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Quito, D.M. 31 de julio de 2024

De mi consideración:

Yo, Antony Cristofer Ramos Rivadeneira, en calidad de Director del Trabajo de Integración Curricular titulado "Elaboración de un manual y guía técnica para el manejo de la PTAP de la parroquia Rumipamba", asociado al proyecto "Elaboración de un manual y guía técnica para el manejo de la PTAP de las parroquias Rumipamba y Tupigachi", elaborado por la estudiante Micaela Adamari Flores Viera, de la carrera en RRA20 Tecnología Superior en Agua y Saneamiento Ambiental, certifico que he solicitado a la Biblioteca General el informe para la revisión de originalidad del documento escrito producto del Trabajo de Integración Curricular indicado.

El documento escrito tiene un índice de similitud del 9%.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento para los trámites de titulación.

NOTA: Se adjunta el informe generado por la herramienta Turnitin.



Atentamente,

**Antony Cristofer Ramos Rivadeneira**  
Docente  
ESFOT

TRABAJO(MICHAELA ADAMARI FLORES VIERA)

INFORME DE ORIGINALIDAD

9% INDICE DE SIMILITUD    9% FUENTES DE INTERNET    3% PUBLICACIONES    2% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1%
3	<a href="http://dspace.espoch.edu.ec">dspace.espoch.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
4	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1%
5	<a href="http://www.przetargi.info">www.przetargi.info</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://repositorio.unesum.edu.ec">repositorio.unesum.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://www.elaguapotable.com">www.elaguapotable.com</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1%

22	Gilver Odilon Mendel Kombo Mpindou. "Aportación a la implantación del análisis de riesgo en los sistemas de distribución del agua: caso del Cryptosporidium para distintos niveles de desarrollo tecnológico en la potabilizadora", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1%
23	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	<1%
24	<a href="http://dof.gob.mx">dof.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1%
25	<a href="http://www.dspace.espol.edu.ec">www.dspace.espol.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
26	Submitted to Universidad De Cuenca Trabajo del estudiante	<1%
27	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1%
28	<a href="http://www.hannabolivia.com">www.hannabolivia.com</a> Fuente de Internet	<1%
29	Jorge Alonso. "Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales", Ecoe Ediciones S. A. S., 2022 Publicación	<1%
30	<a href="http://www.repositorio.usac.edu.gt">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Fuente de Internet	<1%

10	<a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
11	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1%
12	<a href="http://doczz.net">doczz.net</a> Fuente de Internet	<1%
13	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1%
14	Submitted to Universidad Internacional SEK Trabajo del estudiante	<1%
15	<a href="http://kiralyquinteroaguas.blogspot.com">kiralyquinteroaguas.blogspot.com</a> Fuente de Internet	<1%
16	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
17	<a href="http://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
18	Submitted to Universidad de Guayaquil Trabajo del estudiante	<1%
19	<a href="http://dspace.unitru.edu.pe">dspace.unitru.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
20	<a href="http://vdocumento.com">vdocumento.com</a> Fuente de Internet	<1%
21	<a href="http://www.undp.org.co">www.undp.org.co</a> Fuente de Internet	<1%

31	Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, 2011. Publicación	<1%
32	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Trabajo del estudiante	<1%
33	Submitted to Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE Trabajo del estudiante	<1%
34	<a href="http://mail.polodelconocimiento.com">mail.polodelconocimiento.com</a> Fuente de Internet	<1%
35	Pastor Coayla-P, André Alexander Cheneaux-D, Claudia Viviana Moreno-S, Cynthia Elizabeth Cruz-R et al. "Littoral macrobenthic communities and water quality in El Pañe Reservoir, Arequipa, Peru", Neotropical Biodiversity, 2022 Publicación	<1%
36	<a href="http://agris.fao.org">agris.fao.org</a> Fuente de Internet	<1%
37	<a href="http://dspace.unl.edu.ec">dspace.unl.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
38	<a href="http://repositorio.uigv.edu.pe">repositorio.uigv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
39	<a href="http://atenea.udistrital.edu.co">atenea.udistrital.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%

[cimav.repositorioinstitucional.mx](http://cimav.repositorioinstitucional.mx)

40	Fuente de Internet	<1 %
41	gdcon.udea.edu.co Fuente de Internet	<1 %
42	maatecalidadambiental.ambiente.gob.ec Fuente de Internet	<1 %
43	old.business-humanrights.org Fuente de Internet	<1 %
44	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
45	repositorio.uan.edu.co Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
48	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
49	www.economia.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
50	Submitted to Colegio San Patricio Trabajo del estudiante	<1 %
51	Submitted to Instituto Tecnológico de Costa Rica	<1 %
	Fuente de Internet	<1 %
64	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
65	fondoeditorial.unat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
66	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
67	knowledge.unccd.int Fuente de Internet	<1 %
68	obras.expansion.mx Fuente de Internet	<1 %
69	patrocipes.uson.mx Fuente de Internet	<1 %
70	prometeo.us.es Fuente de Internet	<1 %
71	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
72	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
73	repositorio.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
74	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %

Trabajo del estudiante		
52	acceda.ulpgc.es Fuente de Internet	<1 %
53	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
54	link.springer.com Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
57	www.almarwater.com Fuente de Internet	<1 %
58	www.heliospir.net Fuente de Internet	<1 %
59	www.jove.com Fuente de Internet	<1 %
60	www.waternunc.com Fuente de Internet	<1 %
61	Submitted to Universidad de Pamplona Trabajo del estudiante	<1 %
62	archive.org Fuente de Internet	<1 %
63	ekonomi.ikipgribojonegoro.ac.id	
75	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
76	tep239.ugr.es Fuente de Internet	<1 %
77	www.cepis.org.pe Fuente de Internet	<1 %
78	www.ev.state.az.us Fuente de Internet	<1 %
79	www.msmanuals.com Fuente de Internet	<1 %
80	www.readbag.com Fuente de Internet	<1 %
81	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "ITS del Proyecto Planta de Compresión en el Campamento Base de Operaciones Nuevo Mundo para la Ampliación del Proyecto de Desarrollo del Área Sur del Campo Kinteroni-IGA0001880", R.D. N° 168-2016-MEM/DGAAE, 2021 Publicación	<1 %
82	repositorio.uleam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

# ANEXO II. Informe de laboratorio de resultados de Aceites y Grasas



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**  
 Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11  
 RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864  
 Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito – Ecuador



## INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 10 de junio de 2024

No.IRI-24-245

**DATOS DEL CLIENTE:**

Director proyecto-investigación: Ing. Antony Ramos  
 Nombre del estudiante: Micaela Adamari Flores Viera.  
 RUC: -  
 Dirección: -  
 Teléfono convencional: -  
 Teléfono celular: 998348409  
 Correo electrónico: antony.ramos@epn.edu.ec

**DATOS DEL LABORATORIO:**

Fecha de recepción: 2024-05-29  
 No. Oferta de Servicio: OF24-083  
 No. Solicitud de trabajo: ST-24-044  
 Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación  
 Código de la muestra: MI-24- 245  
 Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253  
 Fecha de análisis: 07 de junio de 2024  
 Temperatura de ingreso al laboratorio: 14,3°C

**DATOS DE LA MUESTRA: SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE**

Nombre del Proyecto: "Elaboración de un manual y guía técnica para el manejo de la PTAP de la Junta Administradora de Agua Potable de la parroquia Rumipamba"  
 Fecha de muestreo: 2024-05-27  
 Rotulación de la muestra: -  
 Tipo de muestreo: Puntual  
 Tipo de muestra: Agua Natural  
 Lugar de muestreo: Agua que entra a la PTAP - Rumipamba  
 Origen de la muestra: -  
 Responsable de muestreo: Cliente

Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Vidrio ámbar	1	Ácido Sulfúrico (H2SO4)
Vidrio ámbar	1	Ácido Nítrico (HNO3)

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
<sup>(a)</sup> Aceites y grasas	PE-V-14   SM Ed.24, 2023. Método 5520 B . Gravimetría	mg/L	< 10
<sup>(c)</sup> Arsénico	PE-V-63   EPA 7062 A. Absorción atómica. Generador de hidruros	mg/L	< 0,005

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

**Acreditaciones:**

<sup>(a)</sup> Acreditación N° SAE LEN 06-012. Alcance específico de la acreditación: [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)

<sup>(c)</sup> Parámetro no acreditado

Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser solicitado.

**Nota:**

Este informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo bajo las condiciones recibidas  
 La información completa de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera  
 La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera  
 El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente que puedan afectar la validez de los resultados  
 En caso de que esta información sea solicitada por ley o disposiciones contractuales se notificará al cliente en forma previa  
 Prohibida la reproducción parcial de este informe



Revisado por: MSc. Luis Montenegro  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



Aprobado por: MSc. Carola Fierro  
**RESPONSABLE DE CALIDAD**

# ANEXO III. Informe de laboratorio de resultados de Giardia Lamblia.



## INFORME DE ENSAYO NR. 307376

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			
Cliente:	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		
Dirección:	PICHINCHA / QUITO / ITCHIMBLA / LADRON DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCIA		
Nombre Producto:	MF-GIARDIA -2024 - AGUA DE VERTIENTE		
Fecha de Elaboración:	2024-06-11	Fecha de Caducidad:	2024-06-14
Lote:	L20240611	Contenido Declarado:	ND
Material Envase:	FRASCO AMBAR	Forma de conservación:	Refrigeración

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA			
Código Laboratorio:	307376-1	Contenido Encontrado:	200.0 Mililitros
Fecha Recepción:	24/06/11	Fecha Inicio Ensayo:	24/06/11
Condiciones Ambientales de llegada de la muestra:	4.0 °C	Muestreo:	Es responsabilidad del cliente y, los resultados aplican a la muestra entregada por el cliente tal como se recibió

ENSAYOS MICROB	MÉTODO	ACREDITACIONES SAE		UNIDAD	RESULTADO
GIARDIA LAMBLIA	SEMI	*	*	N/A	Ausencia

NS: No solicita el cliente/ND: No declara.  
 "Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación"  
 Los resultados expresados arriba tienen validez solo para la muestra analizada en condiciones específicas no siendo extensivo a cualquier lote  
 El laboratorio no se responsabiliza por la representabilidad de la muestra respecto a su origen y sitio del cual fue tomado  
 Este informe no será reproducido, excepto en su totalidad con la aprobación del Director Técnico  
 "SEIDLaboratory Cía LTDA no se responsabiliza por la información declarada por el cliente"  
 - Tiempo de almacenamiento de informes: Cinco años a partir de la fecha de ingreso de la muestra

Atentamente.

24/06/18  
 FECHA EMISIÓN

Firmado digitalmente por:  
 TANIA ADELAYDA BASTIDAS BASTIDAS  
 Fecha y hora: 2024-06-18 15:56:08

Muestra 307376-1

Página 1 / 1

**Confidencialidad e Imparcialidad**  
 Seidlaboratory Cía. Ltda., asume la responsabilidad legal sobre la gestión de la información obtenida o creada durante la realización de las actividades del laboratorio a partir de las muestras analizadas, información considerada como confidencial y de propiedad del cliente, con excepción de aquella información que el cliente haya puesto al alcance del público o información que se haya acordado previamente entre ambas partes. Seidlaboratory, se compromete a usar dicha información únicamente de la manera y para los propósitos acordados por las partes, en caso de controversias, las partes se someterán al Centro de Mediación de la Cámara de Comercio de Quito.  
 Tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio  
 Muestras perecibles: 8 días calendario, Muestras no perecibles: 30 días calendario. Si desea repetición de algún parámetro, se debe generar una solicitud en el periodo estipulado.  
 Para consultas, quejas o sugerencias, favor comunicarse a los siguientes correos:  
 Dirección de Calidad: [direccioncalidad@seidlaboratory.com.ec](mailto:direccioncalidad@seidlaboratory.com.ec); Gerencia General: [gerenciageneral@seidlaboratory.com.ec](mailto:gerenciageneral@seidlaboratory.com.ec); Servicio al Cliente: [servicioalcliente@seidlaboratory.com.ec](mailto:servicioalcliente@seidlaboratory.com.ec)  
 Metchor Tacca N61-63 entre Av. del Maestro y Nazareño 022476314 - 022483143 - 0995450911 - 0992730633 Quito, Ecuador  
 Clausula de confidencialidad  
 La modificación parcial o total de la información contenida en el documento se encuentra prohibida, revisar las cláusulas aplicables, escaneando el código QR.





## **ANEXO IV. Registro fotográfico de la PTAP**

**ANEXO V. Zona de sedimentación secundaria con paneles de sedimentación acelerada.**



**ANEXO VII. Vista de la Planta de potabilización.** **ANEXO VIII. Zona de dosificación de Cloro para desinfección.**



**ANEXO IX. Punto de Ingreso del Agua de Vertiente.**



**ANEXO X. Tanques para la preparación de químicos para clarificación.**



# ANEXO XI. Registro fotográfico de los ensayos de caracterización

## ANEXO XII. Determinación de acidez.

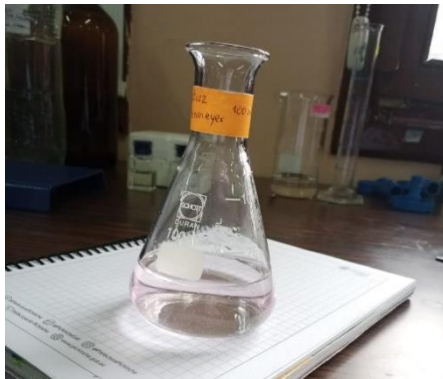


Figura A 1. Determinación de acidez.

## ANEXO XIII. Determinación de alcalinidad.



Figura A 2. Determinación de alcalinidad.

## ANEXO XIV. Determinación de Nitrógeno amoniacal.

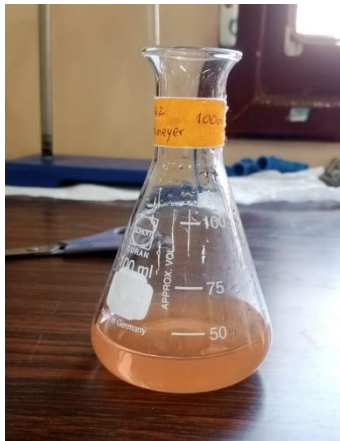


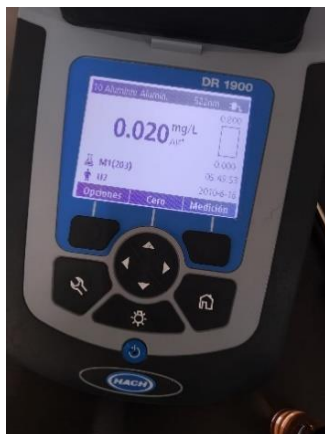
Figura A 3. Determinación de Nitrógeno amoniacal.

## ANEXO XV. Medición de Nitrógeno amoniacal.

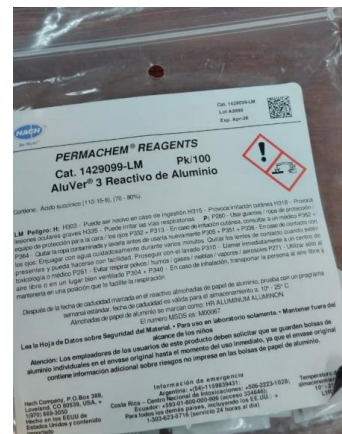


Figura A 4. Medición de Nitrógeno amoniacal.

## ANEXO XVI. Medición de Aluminio del agua cruda.



## ANEXO XVII. Reactivo de para la determinación de aluminio.

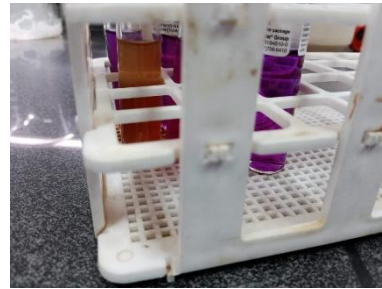




**ANEXO XVIII. Ensayo de Coliformes Totales.**



**ANEXO XIX. Observación de positivos de la prueba presuntiva.**



**ANEXO XX. Medición de Hierro ferroso.**



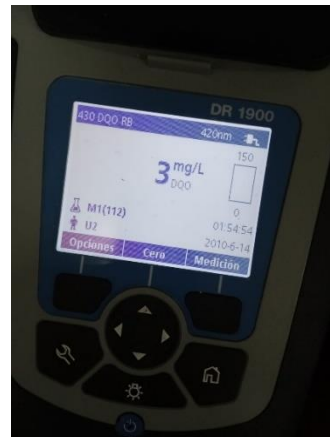
**ANEXO XXI. Reactivo Ferro ver para la determinación de hierro ferroso.**



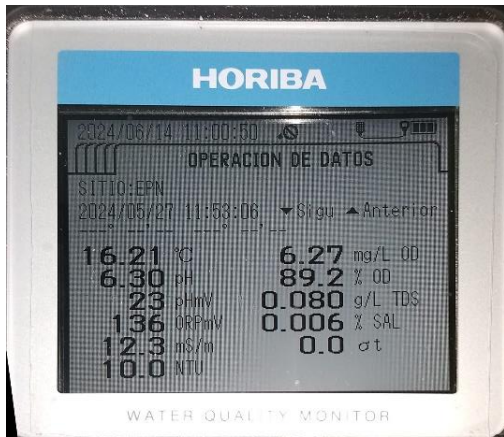
**ANEXO XXII. Medición de Nitrato del agua cruda.**



**ANEXO XXIII. Medición de DQO.**



**ANEXO XXIV. Medición de pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad.**



**ANEXO XXVI. Determinación de Sólidos.**



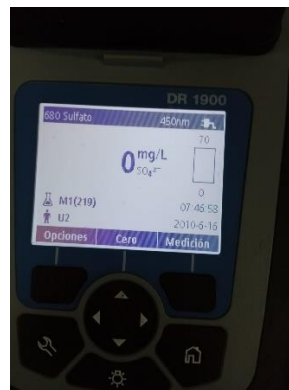
**ANEXO XXVIII. Medición de Color de la muestra del proceso de desinfección.**



**ANEXO XXV. Medición de Cobre.**



**ANEXO XXVII. Medición de Sulfato.**



**ANEXO XXIX. Medición de Bario del agua cruda.**



**ANEXO XXX. Medición de Tensoactivos del agua cruda.**



**ANEXO XXXI. Medición de Tensoactivos del agua cruda.**



**ANEXO XXXII. Medición de Tensoactivos del agua cruda.**

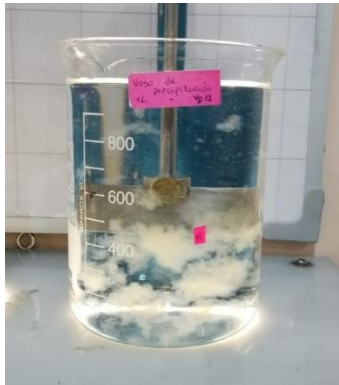


**ANEXO XXXIII. Registro fotográfico de los ensayos de prueba de jarras para coagulación y floculación**

**ANEXO XXXIV. Visualización de la formación de flocs de cada jarra.**



**ANEXO XXXV. Visualización de la formación de flocs de cada jarra.**



**ANEXO XXXVI. Reactivos para pruebas de jarras.**



**ANEXO XXXVII. Registro fotográfico de ensayo de prueba de jarras para desinfección.**

**ANEXO XXXVIII. Visualización de la diferencia entre la jarra con el agua clarificada y la jarra del agua cruda.**



**ANEXO XXXIX. Muestra de agua después del proceso de desinfección.**



## ANEXO XL. Cálculos

Cálculo de la determinación de sólidos Totales y disueltos.

$$\text{Sólidos Totales} = \frac{(47.5427\text{ g} - 47.5345\text{ g}) * 1000\text{ mg}}{50\text{ mL} * \frac{1\text{ L}}{1000\text{ mL}}} = 164\text{ mg/L}$$

$$\text{Sólidos Disueltos} = \frac{(47.5855\text{ g} - 47.5777\text{ g}) * 1000\text{ mg}}{50\text{ mL} * \frac{1\text{ L}}{1000\text{ mL}}} = 156\text{ mg/L}$$

$$\text{Sólidos Suspendidos} = 164 - 156 = 8\text{ mg/L}$$

Cálculo de la solución madre de coagulante para un tanque de 1000 L con un caudal constante de 2.77 L/s



$$\frac{50 \text{ kg}}{1000 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = \frac{50 \text{ g}}{\text{L}} * \frac{25 \text{ mL}}{2.77 \text{ L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 0.45 \text{ g/L}$$

Cálculo de la solución madre del estabilizador de pH hidróxido de sodio para un tanque de 1000 L con un caudal constante de 2.77 L/s

$$\frac{25 \text{ kg}}{1000 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = \frac{25 \text{ g}}{\text{L}} * \frac{25 \text{ mL}}{2.77 \text{ L}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} = 0.23 \text{ g/L}$$

Cálculo de solución madre de 5L/1000L de floculante catiónico.

$$\frac{5 \text{ L}}{1000 \text{ L}} * \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 5 \text{ mL/L}$$

Cálculo de la conversión de la concentración de % a mg/L(ppm), en el caso de hipoclorito de sodio con concentración al 10.9 %.

$$\text{Concentracion de hipoclorito de sodio} = 10.9\% * 10000 = 109000 \text{ mg/L}$$

Cálculo de la solución madre para la demanda de cloro con el hipoclorito de sodio al 10.9%

$$109000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ NaClO} * \frac{1 \text{ g NaClO}}{1000 \text{ mg NaClO}} * \frac{35.45 \text{ g Cl}}{74.44 \text{ g NaClO}} * \frac{1000 \text{ mg Cl}}{1 \text{ g Cl}} = 51908.25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ Cl}$$

## **ANEXO XLI. Manual para el manejo de la PTAP de Rumipamba cantón Rumiñahui.**

[1.1. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA POTABLE DE “RUMIPAMBA” CANTÓN RUMIÑAHUI.docx](#)

## **ANEXO XLII. Guía técnica para el manejo de la PTAP de Rumipamba cantón Rumiñahui.**

[1.2. GUÍA PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE “RUMIPAMBA” CANTÓN RUMIÑAHUI.docx](#)