

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE  
ABASTECIMIENTO DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA  
POTABLE Y SANEAMIENTO DE TOLONTAG – MARCO  
CALIDAD DE AGUA**

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

**MISHEL MORELIA GALLEGOS USHAP**

**[mishel.gallegos@epn.edu.ec](mailto:mishel.gallegos@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: ING. EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES**

**[eduardo.vasquez@epn.edu.ec](mailto:eduardo.vasquez@epn.edu.ec)**

**DMQ, febrero, 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Mishel Morelia Gallegos Ushap 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.

---

**MISHEL GALLEGOS**

**mishel.gallegos@epn.edu.ec**

**mishelgallegos1450@gmail.com**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Mishel Morelia Gallegos Ushap, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Eduardo Vásquez**

**DIRECTOR**

**eduardo.vasquez@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.

MISHEL MORELIA GALLEGOS USHAP

## DEDICATORIA

Con profundo amor y agradecimiento, dedico este trabajo a mi querida familia:

A mis padres, Mercy y Javier: Por su amor incondicional, apoyo constante, enseñanzas y valores que me han convertido en la persona que soy hoy. Gracias por creer en mí siempre.

A mis hermanos, Mercy, Romeo y Alexis, y a mi padrino William: Por su compañía, comprensión y por ser mis pilares fundamentales. Este triunfo es para ustedes, y les estaré agradecida eternamente.

A mis abuelitos María y Ángel, a mi tía Daysi y a mi tía Cuma: Por su invaluable apoyo al brindarme las herramientas necesarias para desarrollar este trabajo.

Este logro es fruto del esfuerzo y la dedicación de todos ustedes. Gracias por ser parte fundamental de mi camino.

## **AGRADECIMIENTO**

Manifiesto mi más sincero agradecimiento a:

A la Escuela Politécnica Nacional: Mi más sincero agradecimiento por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y por permitirme utilizar sus instalaciones para el desarrollo de este trabajo.

A mi maestro, Santiago Guerra: Expreso mi profunda gratitud por compartir su conocimiento y por su exigencia académica, la cual ha contribuido significativamente a mi formación profesional.

A mi tutor de tesis, Eduardo Vásquez: Le agradezco profundamente su paciencia, apoyo incondicional y guía invaluable durante el desarrollo de este trabajo. Su dedicación fue fundamental para alcanzar este logro.

A la comunidad de Tolontag: De manera especial, quiero agradecer al señor Polibio Haro, presidente de la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento, y a los encargados del sistema de abastecimiento. Su amabilidad, paciencia y compromiso con el desarrollo de este proyecto fueron invaluableles. Agradezco la oportunidad que me brindaron para realizar las investigaciones necesarias y por permitirme llevar a cabo este trabajo.

A mis amigos de la Universidad: Amanda, Marcos, Paulina, Katty, Ronald y Jorge, gracias por compartir conmigo momentos inolvidables, por las risas, los juegos y el apoyo incondicional.

En especial a Fer: Por ser mi confidente y apoyo incondicional en los momentos difíciles. Gracias por nunca dejarme sola y por escucharme siempre.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
Ecuaciones.....	VII
Índice de tablas.....	VIII
Figuras.....	IX
RESUMEN.....	XI
1 Introducción.....	13
1.1 Objetivo general.....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Alcance.....	14
1.4 Marco teórico.....	15
1.4.1 El agua.....	15
1.4.2 Fuentes de agua superficiales.....	15
1.4.3 Fuentes de agua subterráneas.....	15
1.4.4 Calidad del agua.....	16
1.4.5 Caracterización del agua.....	16
1.4.6 Límite máximo permisible.....	16
1.4.7 Índice de calidad del agua (ICA).....	16
1.4.8 Muestreo.....	17
1.4.9 Muestra simple.....	17
1.4.10 Parámetros fisicoquímicos.....	17
1.4.12 Parámetros microbiológicos.....	20
1.4.13 Sistema de abastecimiento de agua potable.....	20

2	METODOLOGÍA.....	21
2.1	Elaboración del plan de muestreo .....	21
2.1.1	Determinación de puntos de muestreo .....	21
2.1.2	Ubicación de puntos de muestreo por GPS .....	23
2.2	Caracterización y muestreo .....	23
2.2.1	Análisis de parámetros <i>in situ</i> .....	24
2.3	Análisis de parámetros en laboratorio .....	30
2.3.1	Métodos para análisis de parámetros físicos .....	31
2.3.2	Métodos para análisis de parámetros químicos.....	32
2.3.3	Análisis de parámetros microbiológicos .....	37
2.4	Análisis del Índice de Calidad del Agua ICA (SNET, 2019) .....	38
2.5	Propuesta de mejoras al hipoclorador por goteo .....	40
3	RESULTADOS .....	44
3.1	Descripción de puntos de muestreo .....	44
3.2	Resultados obtenidos en el muestreo.....	45
3.3	Análisis de resultados de parámetros <i>in situ</i> .....	47
3.4	Análisis de resultados de parámetros de laboratorio .....	52
3.4.1	Análisis de resultados de parámetros físicos .....	52
3.4.2	Análisis de resultados de parámetros químicos.....	53
3.4.3	Análisis de resultados de parámetros microbiológicos .....	58
3.5	Determinación de Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	59
3.6	Propuesta de mejoras al hipoclorador por goteo .....	60
4	CONCLUSIONES .....	65
5	Recomendaciones .....	66
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
7	ANEXOS.....	71

## Ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b> Relación entre presión y altitud.....	26
<b>Ecuación 2.</b> Presión de vapor.....	26
<b>Ecuación 3.</b> Concentración de saturación de oxígeno al nivel del mar .....	27
<b>Ecuación 4.</b> Concentración de saturación del OD.....	27
<b>Ecuación 5.</b> Porcentaje de saturación .....	28
<b>Ecuación 6.</b> Sólidos totales .....	31
<b>Ecuación 7.</b> Sólidos disueltos totales .....	32
<b>Ecuación 8.</b> Determinación de alcalinidad.....	33
<b>Ecuación 9.</b> Determinación de dureza total.....	34
<b>Ecuación 10.</b> Determinación de ICA-NSF .....	38
<b>Ecuación 11.</b> Tasa de crecimiento poblacional .....	41
<b>Ecuación 12.</b> Población futura.....	41
<b>Ecuación 13.</b> Caudal medio que ingresa a la planta de tratamiento.....	42
<b>Ecuación 14.</b> Cantidad de hipoclorito de sodio.....	42
<b>Ecuación 15.</b> Caudal de goteo .....	43
<b>Ecuación 16.</b> Caudal de goteo .....	43
<b>Ecuación 17.</b> Tiempo de contacto.....	44

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Parámetros fisicoquímicos .....	17
<b>Tabla 2.</b> Parámetros químicos.....	18
<b>Tabla 3.</b> Parámetros microbiológicos.....	20
<b>Tabla 4.</b> Equipos y materiales para parámetros <i>in situ</i> .....	25
<b>Tabla 5.</b> Oxígeno disuelto vs temperatura.....	27
<b>Tabla 6.</b> Materiales para el muestreo de agua .....	28
<b>Tabla 7.</b> Ponderación de subindicadores .....	38
<b>Tabla 8.</b> Funciones de los subíndices de ICA-NSF Brown (1970).....	39
<b>Tabla 9.</b> Clasificación del ICA de Brown (1970).....	40
<b>Tabla 10.</b> Crecimiento Poblacional.....	40
<b>Tabla 11.</b> Descripción de puntos de muestreo .....	44
<b>Tabla 12.</b> Resultados de análisis de parámetros <i>in situ</i> .....	45
<b>Tabla 13.</b> Resultados de análisis de parámetros físicos y químicos .....	46
<b>Tabla 14.</b> Resultados de análisis de parámetros microbiológicos. ....	47
<b>Tabla 15.</b> Resultados de análisis de la concentración de cloro .....	47
<b>Tabla 16.</b> Resultado del Índice de Calidad del Agua (ICA) .....	59
<b>Tabla 17.</b> Clasificación de la calidad del agua según el ICA.....	60
<b>Tabla 18.</b> Tasa de crecimiento poblacional de Pintag.....	61
<b>Tabla 19.</b> Población actual y futura de Tolontag – Marco .....	62
<b>Tabla 20.</b> Caudales de ingreso a la planta de tratamiento .....	62
<b>Tabla 21.</b> Cantidad de hipoclorito de sodio.....	62
<b>Tabla 22.</b> Concentraciones máximas de la solución clorada .....	63

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> GPS .....	22
<b>Figura 2.</b> Puntos de muestreo.....	23
<b>Figura 3.</b> Medición de parámetros in situ .....	24
<b>Figura 4.</b> Medición con el multiparámetro .....	25
<b>Figura 5.</b> Multiparámetro .....	25
<b>Figura 6.</b> Turbidímetro .....	25
Figura 7. pH metro .....	25
<b>Figura 8.</b> Colorímetro.....	25
<b>Figura 9.</b> Envases ámbar.....	28
<b>Figura 10.</b> Envases esterilizados.....	29
<b>Figura 11.</b> Etiqueta.....	29
<b>Figura 12.</b> Cooler.....	29
<b>Figura 13.</b> Piseta .....	29
<b>Figura 14.</b> EPP .....	29
<b>Figura 15.</b> Toma de muestra .....	30
<b>Figura 16.</b> Crisoles en la estufa.....	31
<b>Figura 17.</b> Análisis alcalinidad.....	33
<b>Figura 18.</b> Material para determinar dureza .....	34
<b>Figura 19.</b> Material para análisis de fosfatos.....	35
<b>Figura 20.</b> Análisis de cloro .....	37
<b>Figura 21.</b> Análisis de coliformes.....	38
<b>Figura 22.</b> Hipoclorito de sodio .....	42
<b>Figura 23.</b> Hipoclorador con flotador.....	43
<b>Figura 24.</b> Tanque de contacto.....	44
<b>Figura 25.</b> Resultados de análisis de conductividad en agua cruda .....	48

<b>Figura 26.</b> Resultados de análisis del oxígeno disuelto en agua cruda.....	49
<b>Figura 27.</b> Resultados de análisis del porcentaje de saturación oxígeno disuelto en agua cruda .....	49
<b>Figura 28.</b> Resultados de análisis de la temperatura en agua cruda .....	50
<b>Figura 29.</b> Resultados de análisis de pH en agua cruda.....	50
<b>Figura 30.</b> Resultados de análisis de pH en agua potable.....	51
<b>Figura 31.</b> Resultados de análisis de turbiedad en agua cruda .....	51
<b>Figura 32.</b> Resultado de análisis de sólidos totales en agua cruda. ....	52
<b>Figura 34.</b> Resultado de análisis de alcalinidad en agua cruda. ....	53
<b>Figura 35.</b> Resultado de análisis de dureza total en agua cruda. ....	54
<b>Figura 36.</b> Resultado de análisis de fosfatos en agua cruda.....	55
<b>Figura 37.</b> Resultado de análisis de hierro total en agua cruda. ....	55
<b>Figura 38.</b> Resultado de análisis de manganeso en agua cruda. ....	56
<b>Figura 39.</b> Resultado de análisis de nitratos en agua cruda.....	56
<b>Figura 40.</b> Resultado de análisis de sulfatos en agua cruda.....	57
Figura 41. Resultado de análisis de cloro libre residual en agua potable .....	57
<b>Figura 42.</b> Resultado de análisis de cloro total en agua potable. ....	58
<b>Figura 43.</b> Curva de crecimiento poblacional .....	61

## RESUMEN

Se describe la evaluación realizada al sistema de tratamiento de agua potable en la comunidad de Tolontag, con el objetivo de identificar las áreas de mejora y garantizar la calidad del agua. Se realizó un plan de muestreo en cinco puntos específicos: tanque de captación, entrada y salida de la planta de tratamiento, y las dos viviendas más alejadas de la planta. Se analizaron parámetros in situ (pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto y turbiedad) y parámetros de laboratorio (arsénico, alcalinidad, DQO, DBO5, dureza total, hierro total, manganeso, fosfatos, nitratos, sólidos totales y disueltos, sulfatos, cloro libre residual y total, coliformes fecales y totales). Los análisis realizados al agua cruda de la comunidad indican que es de excelente calidad. Por tal motivo, el tratamiento actual se limita a la desinfección. Sin embargo, las pruebas revelaron que el proceso de desinfección no es efectivo, ya que las concentraciones de cloro total y cloro libre residual son inferiores a los valores establecidos por la normativa. Para garantizar la calidad del agua para el consumo humano, se proponen mejoras al tratamiento actual, que se basa en un hipoclorador por goteo constante. Estas mejoras se enfocan en: Modificar la cantidad de desinfectante para preparar una solución madre adecuada, recalcular el caudal de goteo para asegurar una dosificación precisa y constante, ampliar el tiempo de contacto del desinfectante con el agua para una desinfección efectiva. Estas medidas permitirán garantizar que los habitantes de la comunidad tengan acceso a agua potable segura y de calidad.

**PALABRAS CLAVE:** Calidad del agua, puntos de muestreo, Índice de calidad del agua, límites máximos permisibles, normativa, tratamiento de desinfección, hipoclorador.

## **ABSTRACT**

It describes the evaluation of the drinking water treatment system in the community of Tolontag, with the aim of identifying areas of improvement and ensuring water quality. A sampling plan was carried out at five specific points: the collection tank, the entrance and exit of the treatment plant, and the two housing areas most remote from the plant. In situ (pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen and turbidity) and laboratory parameters (arsenic, alkalinity, DQO, DBO5, total hardness, total iron, manganese, phosphates, nitrates, total and dissected solids, sulphates, residual and total free chlorine, fecal and total coliforms) were analysed. Analysis of the community's raw water indicates that it is of excellent quality. For this reason, the current treatment is limited to disinfection. However, the tests revealed that the disinfection process is not effective, as the concentrations of total chlorine and residual free chloride are lower than the normative values. To ensure the quality of water for human consumption, improvements are proposed to the current treatment, which is based on a constant-drip hypochlorant. These improvements focus on: Modifying the amount of disinfectant to prepare a suitable root solution, recalculating the drop flow to ensure accurate and constant dosing, extending the contact time of the disinfection agent with the water for effective disinfection. These measures will ensure that the inhabitants of the community have access to safe and quality drinking water.

**KEYWORDS:** Water quality, sampling points, Water quality index, maximum permissible limits, regulations, disinfection treatment, hypochlorinator.

# 1 INTRODUCCIÓN

El componente implica la determinación y evaluación del estado de la calidad del agua que suministra a la comunidad de Tolontag. Esto se logra mediante un análisis exhaustivo de diversos parámetros físicos, químicos y microbiológicos, tanto in situ como en el laboratorio. Se elaboró un plan de muestreo para caracterizar el agua cruda y potable, en base a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169, el plan estableció los procedimientos y precauciones para preservar y trasladar las muestras de agua, de igual forma se identificaron los puntos de muestreo, la cantidad de parámetros analizados, la ruta para tomar muestras, el personal de muestreo, los materiales y equipos utilizados.

Se llevó a cabo la recolección y análisis del agua en los puntos designados según el plan de muestreo preestablecido, con el fin de investigar los aspectos físicos, químicos y microbiológicos tanto del agua cruda como del agua destinada al consumo humano. Los análisis se realizaron en los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional, y la información obtenida fue posteriormente procesada.

El Acuerdo Ministerial 097-A de 2015, que reforma el Texto Unificado de Legislación Secundaria, junto con la Norma INEN 1108 en su quinta revisión de 2014, establecen los límites máximos permitidos para diversos parámetros. Para contrastar los resultados obtenidos, se utilizaron estos documentos, específicamente la Tabla 1 que describe los criterios de calidad para fuentes de agua destinada al consumo humano.

Se evaluó la calidad del agua en su origen natural mediante el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA), el cual se basó en la medición de nueve parámetros que abarcan aspectos físico-químicos y microbiológicos.

Con el objetivo de evitar enfermedades futuras y garantizar un suministro de agua de óptima calidad para todos los miembros de la comunidad, se planteó la mejora del proceso actual de desinfección del sistema de abastecimiento, basándose en los hallazgos obtenidos tras la evaluación de la calidad del agua.

## **1.1 Objetivo general**

Analizar la calidad del agua proporcionada por el sistema de abastecimiento gestionado por la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento de Tolontag - Marco.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Crear un plan de muestreo para caracterizar las fuentes de agua natural de acuerdo con las regulaciones nacionales vigentes.
2. Calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) basándose en los aspectos físicos, químicos y microbiológicos del agua suministrada por el sistema de abastecimiento de agua potable.
3. Sugerir mejoras al proceso de tratamiento del agua potable empleado por la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento.

## **1.3 Alcance**

La evaluación del agua en la comunidad de Tolontag – Marco se realizó mediante visitas programadas, trabajo de campo, un plan de muestreo, equipos de medición in situ y métodos de análisis de laboratorio. Los datos recopilados fueron organizados en tablas y comparados con los estándares actuales, incluyendo la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (AM 097), Libro VI, Anexo 1, específicamente la Tabla 1. Se determinó el Índice de Calidad del Agua, identificando las mejoras al sistema de la Junta Administradora de Agua Potable para garantizar la calidad del agua para la comunidad.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 El agua**

La mayor parte de la superficie de la Tierra está cubierta de agua en una variedad de formas, incluidos océanos, lagos, ríos, aire y suelo. El agua es un recurso vital para la vida, necesario para el crecimiento de las plantas, la supervivencia de los animales y el desarrollo humano. (Naciones Unidas, 2022)

La búsqueda de fuentes de agua ha sido crucial en la historia de la humanidad porque el agua es una necesidad básica para los seres humanos. Dado que el agua es necesaria para el consumo, la agricultura y la industria, los pueblos han establecido sus asentamientos cerca de ríos, lagos y océanos desde las primeras civilizaciones. (Naciones Unidas, 2022)

### **1.4.2 Fuentes de agua superficiales**

Las aguas superficiales son aquellas que se encuentran en la superficie de la Tierra, como su nombre lo indica. Se forman por la lluvia, que puede filtrarse en el suelo o quedar en la superficie, si dicha precipitación queda en la superficie, puede formar lagos, lagunas o ríos. Las aguas superficiales se clasifican en dos tipos; lóaticas que son las que se mueven, como los ríos, arroyos quebradas y riachuelos; lénticas que son las que se mantienen en reposo, como los pantanos y lagunas. (Navarro Alvargonzález, Fernández Uría, & Doblas Domínguez, 1993)

### **1.4.3 Fuentes de agua subterráneas**

Las aguas subterráneas son aquellas que se encuentran presentes bajo la superficie del suelo. Se forman por la filtración de las precipitaciones, que se almacenan en formaciones geológicas permeables, como rocas y suelos porosos. Las aguas subterráneas se clasifican en dos tipos; freáticas que son las aguas que se encuentran en la zona porosa de las rocas y los suelos que está completamente llena de agua; artesianas que son las aguas freáticas que se encuentran bajo presión, por lo tanto, fluyen hacia la superficie a través de un pozo o manantial. (Navarro Alvargonzález, Fernández Uría, & Doblas Domínguez, 1993)

#### **1.4.4 Calidad del agua**

El concepto de "calidad del agua" engloba las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua, evaluadas según su idoneidad para diversos usos. Los factores naturales como la erosión del suelo y la escorrentía, así como los factores antropogénicos como la contaminación industrial, agrícola y urbana, pueden tener un impacto en la calidad del agua. (OMS, 2022)

#### **1.4.5 Caracterización del agua**

La caracterización del agua es el proceso de determinar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de una muestra de agua. Este proceso se realiza para evaluar la calidad del agua y determinar su idoneidad para un uso específico. (España, 2021)

En Ecuador, la caracterización del agua se rige por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1107:2023, "Agua para consumo humano. Requisitos". Esta norma establece los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que deben cumplir las muestras de agua para ser consideradas potables. (NTE INEN, 2023)

#### **1.4.6 Límite máximo permisible**

Un límite máximo permisible es una concentración máxima de una sustancia contaminante permitida en el agua. Se establece para garantizar la salud humana y el medio ambiente. Los LMP se aplican a diferentes tipos de agua, como el agua apta para consumo, las aguas residuales, y las aguas crudas, de igual forma se puede aplicar a diferentes usos del agua. (INECC, 2021)

#### **1.4.7 Índice de calidad del agua (ICA)**

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es una herramienta que se utiliza para evaluar la calidad del agua de consumo humano en Ecuador. El ICA se calcula a partir de los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua. (Sánchez & Oyola, 2014)

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se consideran para el cálculo del ICA son: oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, temperatura, turbiedad, nitratos, demanda biológica de oxígeno (DBO), coliformes fecales, potencial de hidrógeno (pH) y fosfatos. (MADSC, 2019)

El ICA se expresa en una escala de 0 a 100, donde 0 indica la peor calidad del agua y 100 la mejor. Los valores del ICA se interpretan de la siguiente manera:

- ICA < 25: Muy mala.
- ICA 25 - 50: Mala.
- ICA 50 - 75: Regular.
- ICA 75 - 90: Buena.
- ICA > 90: Excelente.

El ICA es una herramienta crucial para proteger la salud humana. Los valores del ICA permiten identificar las muestras de agua que no cumplen con los estándares de calidad establecidos por la normativa ecuatoriana. (García, Osorio, & Saquicela, 2021)

#### 1.4.8 Muestreo

El muestreo del agua es el proceso de recolectar una muestra de agua para su estudio. Se usa para evaluar la calidad del agua, detectar contaminantes y monitorear los cambios en el medio ambiente. (INECC, 2021)

#### 1.4.9 Muestra simple

Una muestra simple de agua es una cantidad de agua tomada de un cuerpo de agua en un solo lugar y en un solo momento. (AEIAS, 2023)

#### 1.4.10 Parámetros fisicoquímicos

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Concepto	Importancia de evaluación	Cómo se mide
Conductividad	μS/cm	La aptitud de una solución acuosa para llevar corriente eléctrica se denomina conductividad. (Solís, Castro, Zúñiga, & Mora, 2018)	Este parámetro en el agua está relacionado con la concentración de los iones disueltos en la solución. (Solís, Castro, Zúñiga, & Mora, 2018)	Multiparámetro
Oxígeno disuelto	mg/L OD	El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno gaseoso presente en el agua. (Montgomery, 1964)	Es un factor crítico en la evaluación de la calidad del agua, dado que resulta fundamental tanto para el sustento de la vida acuática como para los procesos químicos y biológicos inherentes al medio acuático. (IWA, 2022)	Multiparámetro

Potencial Hidrógeno	Escala de 0-14	El pH del agua es una medida de su acidez o alcalinidad, con valores de 0 a 14. (ASTM, 2023)	Un pH demasiado ácido o alcalino puede ser dañino para la salud humana, el pH del agua puede afectar la calidad del agua. (OMS, 2017)	pH metro
Temperatura	°C o °F	La temperatura del agua es una medida de la energía térmica que posee. (ASTM, 2023)	La temperatura del agua puede afectar a la calidad del agua, debido a que el agua con una temperatura demasiado alta o demasiado baja puede ser dañina para la salud humana. (OMS, 2011)	Termómetro
Sólidos (ST; SS; SD)	mg/L	Los sólidos en el agua son partículas de materia que, al estar suspendidas o disueltas en el agua, hacen que esta no sea totalmente pura. Estos sólidos pueden ser de origen natural o artificial. (ASTM, 2022)	Los sólidos en el agua pueden tener un impacto en la calidad del agua, ya que pueden reducir la claridad del agua. Los sólidos disueltos pueden dañar la salud humana y los ecosistemas acuáticos. (ASTM, 2022)	Gravimetría
Turbidez	NTU	La turbidez del agua es una medida de la cantidad de material suspendido en el agua. (ASTM, 2022)	Indica la claridad del agua y puede afectar a su potabilidad, su uso en procesos industriales y su estética. (OMS, 2017)	Turbidímetro

#### 1.4.11 Parámetros químicos

Tabla 2. Parámetros químicos

Parámetro	Unidad	Concepto	Importancia de evaluación	Cómo se mide
Demanda Bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO5)	mg O2/L	DBO5 representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos utilizan para descomponer la materia orgánica presente en el agua a una temperatura de 20 °C, durante un lapso de cinco días. (IWA, 2022)	La DBO5 es un indicador crucial para evaluar la calidad del agua porque muestra la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua. (ASTM, 2022)	Método respirométrico

Demanda química de oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	La DQO es una medida de la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica en el cuerpo de agua. (IWA, 2022)	La DQO es un indicador crucial para evaluar la calidad del agua porque indica la cantidad de materia orgánica presente en el agua, tanto biodegradable como no biodegradable. (ASTM, 2023)	Método espectrofotométrico
Dureza	mg/L	La dureza del agua se mide por la cantidad de iones de calcio y magnesio presente en el agua. (ASTM, 2023)	La dureza del agua es crucial para evaluar la calidad del agua porque puede alterar el sabor y causar incrustaciones en las tuberías y los electrodomésticos, lo que reduce su vida útil. (OMS, 2022)	Titulación
Alcalinidad		La alcalinidad de una solución se mide por su capacidad para neutralizar ácidos. (OMS, 2011)	Es importante medir este parámetro para determinar la calidad del agua ya que puede afectar el pH, la dureza y la capacidad de tratamiento de agua. (OMS, 2022)	Titulación
Fosfatos	mg/L	Los fosfatos son compuestos inorgánicos que contienen fósforo y oxígeno. Aunque son nutrientes esenciales para la vida, en exceso pueden dañar la calidad del agua. (AEIAS, 2023)	Los fosfatos en el agua pueden provocar la eutrofización, lo cual consume el oxígeno disuelto en el agua. Esto puede provocar la muerte de organismos acuáticos, además, también pueden afectar el sabor y olor del agua. (AEIAS, 2023)	Método colorimétrico
Hierro y manganeso	mg/L	Son metales que se encuentran de forma natural en el agua. En Ecuador, estos se encuentran con frecuencia en las aguas subterráneas. Esto se debe a que estos metales se encuentran en las rocas y el suelo, que pueden liberarlos al agua subterránea. (OMS, 2011)	Pueden ser un problema para la calidad del agua, estos pueden causar manchas, sabor y olor desagradables. (OMS, 2022)	Método espectrofotométrico

Arsénico	µg/L	Es un elemento que se encuentra de forma natural en la corteza terrestre. En Ecuador, el arsénico se encuentra con frecuencia en las aguas subterráneas. (OMS, 2011)	El arsénico es un contaminante peligroso para la salud humana, puede causar una variedad de problemas de salud, incluyendo cáncer, enfermedades cardíacas, problemas de piel y neurológicos. (OMS, 2022)	Método colorimétrico
Cloro	mg/L	El cloro es un elemento químico que se utiliza para desinfectar el agua potable. El cloro libre es la forma de cloro que se encuentra en el agua potable y que está disponible para desinfectar. (MAATE, 2018)	Se considera un indicador de la calidad del agua potable, ya que protege de la contaminación, ayuda a prevenir el crecimiento de bacterias, virus y protozoos en el agua, que pueden causar enfermedades. (MAATE, 2018)	Método colorimétrico

#### 1.4.12 Parámetros microbiológicos

**Tabla 3.** Parámetros microbiológicos

Parámetro	Unidad	Concepto	Importancia de evaluación	Cómo se mide
Coliformes totales	NMP	Los coliformes totales son un grupo más amplio que incluye bacterias que se encuentran tanto en los intestinos de los animales como en el medio ambiente. (OMS, 2011)	Es importante medir coliformes totales en el agua para proteger la salud humana y garantizar la calidad del agua potable. (OMS, 2022)	Método de cultivo
Coliformes fecales	NMP/100mL	Los coliformes fecales, en cambio, son un grupo más específico que incluye bacterias que solo se encuentran en los intestinos de los animales. (OMS, 2011)	La presencia de coliformes fecales en el agua potable puede indicar que el agua puede estar contaminada con bacterias como E. coli. (OMS, 2022)	Método de cultivo

#### 1.4.13 Sistema de abastecimiento de agua potable- desinfección

Un sistema de suministro de agua potable se define como un conjunto de infraestructuras diseñadas para transportar agua apta para el consumo humano desde su fuente hasta los lugares de uso. (EMAAP , 2008).

Su objetivo es proporcionar agua segura y confiable para el consumo humano, lo que implica un tratamiento adecuado para eliminar patógenos y otros contaminantes. La desinfección juega un papel fundamental en este proceso, ya que inactiva microorganismos que pueden causar enfermedades. (OMS, 2022)

Existen diversos métodos de desinfección, como la cloración, el cuál es el método más utilizado debido a su eficacia, bajo costo y facilidad de aplicación. (COSUDE, 2019)

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Elaboración del plan de muestreo

Se llevó a cabo una inspección en la Junta Administradora de Agua Potable (JAAPS) de la localidad de Tolontag – Marco con el fin de elaborar un plan de muestreo. Durante esta visita, se examinó minuciosamente todo el sistema de suministro, desde la fuente de abastecimiento hasta los puntos de distribución.

Para información sobre el plan de muestreo, consulte el Anexo II, con una descripción detallada de los aspectos del plan.

#### 2.1.1 Determinación de puntos de muestreo

Se determinaron los puntos de muestreo más apropiados para evaluar la calidad del agua potable del sistema durante la visita a la Junta Administradora de Agua Potable (JAAPS). Estos puntos se seleccionaron teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Representatividad: Los puntos de muestreo deben ser representativos de la calidad del agua en todo el sistema.
- Accesibilidad: Los puntos de muestreo deben ser accesibles para los técnicos del proyecto.

Los puntos de muestreo identificados durante la visita fueron los siguientes:

- **Punto 1 Tanque de captación:** Se tomó una muestra del agua que ingresa al tanque de captación para evaluar su calidad antes de que se someta a tratamiento.

El agua cruda se transporta a través de una tubería de 5 metros de longitud hasta un tanque de almacenamiento. A este tanque se conectan dos mangueras y un tubo de dos pulgadas,

el agua que proviene de las mangueras y el tubo se mezclan para formar un flujo uniforme. Este flujo de agua se envía a la planta de tratamiento para su desinfección.

- **Punto 2 y 3 Planta de tratamiento:** Se tomaron muestras del agua antes y después del tratamiento para evaluar la efectividad del tratamiento.

El agua cruda que llega al tanque de captación se transporta mediante tuberías de diferentes diámetros durante 2 kilómetros. El agua ingresa a la planta de tratamiento, y es conducida a un tanque de almacenamiento. Desde este tanque, el agua pasa a un sedimentador, donde se eliminan las partículas sólidas en suspensión. Luego, el agua pasa a un filtro de arena, donde se eliminan los contaminantes restantes. Finalmente, el agua llega a un tanque de contacto, donde se desinfecta con cloro. El cloro se añade al agua en forma de hipoclorito de sodio.

- **Punto 4 y 5 Puntos de consumo:** Se tomaron muestras del agua en dos de las casas más alejadas de la planta de tratamiento para evaluar la efectividad del tratamiento de desinfección al agua.

Tras la desinfección por cloro, la red de tuberías conduce agua a diferentes tanques de almacenamiento. De dichos tanques se derivan tuberías que transportan el agua desde los tanques hasta las viviendas.

Como se muestra en la Figura 1, un dispositivo GPS de la marca Garmin se utilizó para ubicar los puntos de muestreo. Cada punto tenía sus datos de ubicación registrados y almacenados en la memoria del dispositivo.



**Figura 1. GPS**

### 2.1.2 Ubicación de puntos de muestreo por GPS

En la Figura 2 se pueden observar los puntos elegidos para la evaluación, donde se recolectaron las distintas muestras.

En el punto A se determinó como punto de muestreo para:

- Punto 1: Tanque de captación

En el punto B se determinó como punto de muestreo para:

- Punto 2: Entrada a la planta de tratamiento
- Punto 3: Salida a la planta de tratamiento

En el punto C se determinó como punto de muestreo para:

- Punto 4: Vivienda más alejada - Sector Tolontag
- Punto 5: Vivienda más alejada - Sector Marco

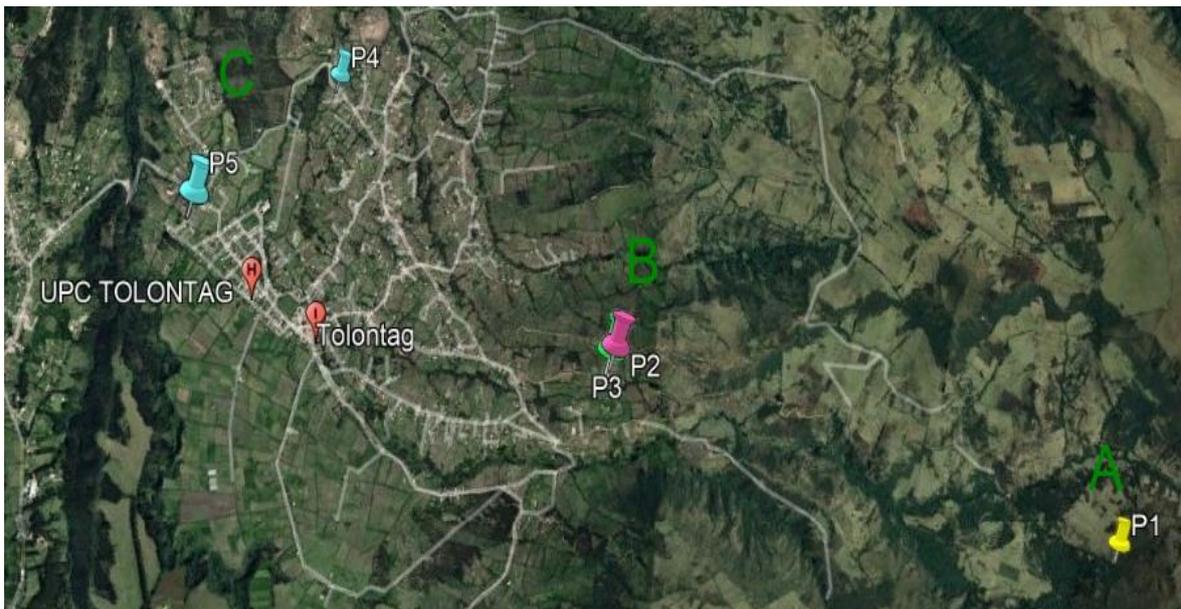


Figura 2. Puntos de muestreo

## 2.2 Caracterización y muestreo

El muestreo del recurso hídrico se realizó en campo, siguiendo las técnicas y precauciones establecidas en las normas NTE INEN 2169 y NTE INEN 2176 del año 2013. En total, se muestrearon 5 puntos diferentes, recolectando muestras simples para determinar la constitución fisicoquímica y microbiológica del recurso. Los estudios se llevaron a cabo en

laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional en el Distrito Metropolitano de Quito, especializados en agua y saneamiento ambiental.

### **2.2.1 Análisis de parámetros *in situ***

Antes de llevar a cabo las mediciones en el lugar, se confirmó el buen estado de los equipos portátiles empleados. Se utilizaron un turbidímetro, un medidor de pH y un multiparámetro HORIBA U-50. Todos estos dispositivos estaban debidamente calibrados y con baterías completamente cargadas, asegurando de esta manera la precisión y confiabilidad de los datos recolectados.

Se realizaron las mediciones en el sitio en dos ubicaciones específicas: el tanque de captación y la entrada a la planta de tratamiento. Se utilizó un multiparámetro HORIBA U-50 para medir la conductividad, el oxígeno disuelto y la temperatura. Se utilizó un turbidímetro para medir la turbiedad. Se utilizó un pH metro para medir el pH.

Después de confirmar la adecuación de los equipos portátiles, se llevó a cabo el proceso de homogeneización del recipiente (jarra aforada) mediante tres enjuagues con agua de la muestra. Posteriormente, se recolectó la muestra en el recipiente y se sumergió la sonda multiparamétrica en el agua. Se eliminaron las burbujas con movimientos suaves y se esperó a que los valores mostrados en la pantalla del multiparámetro se estabilizaran antes de realizar las mediciones finales.

Para medir la turbidez, se homogenizó la muestra de agua en la celda de vidrio tres veces. Luego, se insertó la celda en el turbidímetro y se leyó el valor. La Tabla 4 proporciona información sobre los equipos y materiales utilizados para medir cada parámetro *in situ*.



**Figura 3.** Medición de parámetros *in situ*



**Figura 4.** Medición con el multiparámetro

**Tabla 4.** Equipos y materiales para parámetros *in situ*

Equipo	Descripción	Gráfico
Multiparámetro	Es un dispositivo portátil que permite determinar varios parámetros de una misma muestra de forma simultánea. Están equipados con una sonda o sensores que se introducen en la muestra.	 <p data-bbox="1015 1077 1347 1115"><b>Figura 5.</b> Multiparámetro</p>
Turbidímetro	Es un dispositivo que mide la turbidez, la cantidad de partículas suspendidas, y la cantidad de luz dispersada por dichas partículas.	 <p data-bbox="1031 1375 1331 1413"><b>Figura 6.</b> Turbidímetro</p>
pH metro	Es un dispositivo que mide el pH de una solución, este funciona midiendo la diferencia de potencial eléctrico entre dos electrodos, uno de referencia y otro de pH.	 <p data-bbox="1051 1655 1310 1693"><b>Figura 7.</b> pH metro</p>
Colorímetro	Es un instrumento portátil que mide el color, o la concentración de productos químicos en soluciones.	 <p data-bbox="1038 1944 1326 1982"><b>Figura 8.</b> Colorímetro</p>

- **Saturación de oxígeno (%)**

Para evaluar la precisión de la medición del oxígeno disuelto realizada por el equipo multiparamétrico, se calculó el porcentaje de saturación de oxígeno. Debido a que las mediciones se realizaron en zonas de elevada altitud, fue imprescindible considerar la temperatura del agua, la cantidad de oxígeno disuelto y la presión atmosférica en relación con la altitud específica de cada lugar donde se tomó una muestra.

En primer lugar, se empleó la Ecuación 1 para calcular la presión atmosférica. Las altitudes registradas con el GPS se sustituyeron en la ecuación para obtener la presión atmosférica.

$$P(h) = 1.033 * \exp(-0.000116*h)$$

**Ecuación 1.** Relación entre presión y altitud (Castillo, Espinoza, Nuñez, & Zamorano, 2004)

**Donde:**

P = Presión Atmosférica en función a la elevación ( $Kg/cm^2$ )

h = Elevación (msnm)

La presión atmosférica se transformó de  $Kg/cm^2$  a milímetros de mercurio.

En segundo lugar, se usó la ecuación 2, para obtener la presión de vapor en función de la temperatura.

$$Pv = e^{(a*T^2+b*T+c)}$$

**Ecuación 2.** Presión de vapor (Castillo, Espinoza, Nuñez, & Zamorano, 2004)

**Donde:**

Pv = Presión de vapor ( $Kg/cm^2$ )

T = Temperatura ( $^{\circ}C$ )

a = -0,000217744

b = 0,07067217

c = -5,063447

En campo se realizaron mediciones de las concentraciones de OD y temperatura del agua. Los valores de temperatura se utilizaron para corregir la concentración de saturación del oxígeno disuelto en función de la temperatura. Para ello se empleó la tabla 6, pero como

los valores de temperatura obtenidos en campo no coincidían exactamente con los de la Tabla 5, se realizó una interpolación con valores de temperatura cercanos a los obtenidos.

**Tabla 5.** Oxígeno disuelto vs temperatura (Castillo, Espinoza, Nuñez, & Zamorano, 2004)

Temp. (°C)	DO (mg/L)	Temp. (°C)	DO (mg/L)	Temp. (°C)	DO (mg/L)
0	14.62				
1	14.22	11	11.03	21	8.91
2	13.83	12	10.78	22	8.74
3	13.46	13	10.54	23	8.58
4	13.11	14	10.31	24	8.42
5	12.77	15	10.08	25	8.26
6	12.45	16	9.87	26	8.11
7	12.14	17	9.66	27	7.97
8	11.84	18	9.47	28	7.83
9	11.56	19	9.28	29	7.69
10	11.29	20	9.09	30	7.56

Una vez obtenidos los valores de OD corregidos en función de la temperatura, se utilizó la Ecuación 3 para obtener la concentración de saturación de oxígeno disuelto corregida en función de la presión.

$$C_P = \frac{P - P_v}{P_{atm} - P_v}$$

**Ecuación 3.** Concentración de saturación de oxígeno al nivel del mar (Castillo, Espinoza, Nuñez, & Zamorano, 2004)

**Donde:**

P = Presión atmosférica (mmHg)

Patm = Presión correspondiente a una atmósfera (mmHg)

Pv = Presión de vapor del agua (mmHg)

Una vez obtenidos los valores de las correcciones de las concentraciones de saturación del OD en función de la temperatura y la presión, se calcularon las concentraciones de saturación corregidas utilizando la Ecuación 4.

$$C_S = C_T * C_P$$

**Ecuación 4.** Concentración de saturación del OD (Castillo, Espinoza, Nuñez, & Zamorano, 2004)

**Donde:**

Ct = Corrección de la concentración de saturación del OD en función a la temperatura

Cp = Corrección de la concentración de saturación del OD en función a la presión

Posteriormente, se calculó el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto utilizando la ecuación 5

$$\% \text{ saturación} = \frac{OD \text{ medido}}{OD \text{ saturación}} * 100$$

**Ecuación 5.** Porcentaje de saturación (Castillo, Espinoza, Nuñez, & Zamorano, 2004)

**Donde:**

OD medido = Concentración medida por el multiparámetro (mg/L)

OD saturación = Concentración corregida (Cs) (mg/L)

El Anexo III presenta un análisis exhaustivo de las variables altitudinales, temperatura del agua, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación, con las debidas correcciones.

Una vez analizados los parámetros mencionados, se realizó el muestreo del agua en campo, un aspecto importante del proyecto. Para la recolección de muestras, se desarrollaron etiquetas para identificar los puntos a muestrear. Luego, se seleccionaron los recipientes adecuados según el tipo de análisis a realizar. Los recipientes para estudios fisicoquímicos se lavaron con reactivos químicos, mientras que los recipientes para estudios microbiológicos se esterilizaron.

**Tabla 6.** Materiales para el muestreo de agua

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>Gráfico</b>
Envases Ámbar	Son recipientes de tonalidad oscura se utilizan para almacenar muestras de agua, disoluciones o reacciones que pueden descomponerse bajo la luz.	 <b>Figura 9.</b> Envases ámbar

Frascos esterilizados de muestra de orina	Los recipientes estériles se utilizan para contener muestras biológicas. Su principal función es proteger las muestras de la contaminación, lo que garantiza que los análisis posteriores sean precisos y confiables.	 <p><b>Figura 10.</b> Envases esterilizados</p>																
Etiquetas de muestreo	La etiqueta de muestreo representa una herramienta fundamental para el analista de laboratorio, ya que posibilita la identificación del tipo de muestra y del preservante empleado.	<table border="1" data-bbox="970 589 1286 703"> <tr> <td>Análisis a realizar:</td> <td></td> <td>Lugar de muestreo:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fecha de muestreo:</td> <td></td> <td>Preservante utilizado:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de muestreo:</td> <td></td> <td>Número de muestra:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nombre muestreador:</td> <td></td> <td>Tipo de muestra:</td> <td></td> </tr> </table> <p><b>Figura 11.</b> Etiqueta</p>	Análisis a realizar:		Lugar de muestreo:		Fecha de muestreo:		Preservante utilizado:		Hora de muestreo:		Número de muestra:		Nombre muestreador:		Tipo de muestra:	
Análisis a realizar:		Lugar de muestreo:																
Fecha de muestreo:		Preservante utilizado:																
Hora de muestreo:		Número de muestra:																
Nombre muestreador:		Tipo de muestra:																
Cooler	La caja refrigerante es un equipo indispensable para el transporte de muestras de agua. Permite mantenerlas en condiciones óptimas durante el transporte.	 <p><b>Figura 12.</b> Cooler</p>																
Piseta	Es un recipiente que contiene agua destilada, con la cual se puede enjuagar los materiales previo y posteriormente a su uso, con el fin de garantizar soluciones puras, libres de contaminantes.	 <p><b>Figura 13.</b> Piseta</p>																
Guantes de nitrilo y mandil	Es el equipo de protección personal (EPP), se utilizan para proteger al técnico de los riegos biológicos, químicos y físicos, de igual forma se evita la contaminación cruzada.	 <p><b>Figura 14.</b> EPP</p>																

- **Recolección de muestras**

Para garantizar que las muestras fueran representativas, se homogeneizaron las botellas con la misma muestra de agua. Además, se garantizó que las paredes de los tanques de captación, entrada y salida de la planta de tratamiento, no estaban en contacto con el agua. Las muestras se tomaron a 20 centímetros de profundidad en el centro de los tanques, esto con objetivo de evitar contaminación y afectar a la representatividad de la muestra. En las

casas, se tomaron muestras de los grifos. Para eliminar los agentes externos, se esterilizaron los grifos con una fosforera. Por último, se dejó circular el agua durante dos minutos antes de tomar la muestra, con el objetivo de estabilizar las características del agua en ese momento.

Se dejó un espacio libre de dos centímetros en el recipiente para favorecer la aireación y se selló posteriormente para evitar la contaminación por factores externos en los análisis microbiológicos. En cuanto a las muestras destinadas al análisis orgánico, recolectadas en botellas de color ámbar, se llenaron por completo. Una vez recolectadas y selladas las muestras, se etiquetaron y se cubrieron dichas etiquetas con cinta adhesiva transparente para asegurar la legibilidad de la misma.



**Figura 15.** Toma de muestra

- **Preservación de muestras**

Para asegurar que las muestras fueran representativas, se utilizaron técnicas de preservación que retrasaron los cambios químicos y biológicos. Las muestras recolectadas se colocaron en un recipiente aislante (cooler) y se transportaron a bajas temperaturas. En el plan de muestreo se presentan las técnicas de preservación recomendadas para cada parámetro de calidad del agua, según la Norma INEN 2169.

- **Transporte y entrega de muestras**

Las muestras se mantuvieron a una temperatura de 1 a 5°C en oscuridad para evitar su alteración durante el transporte. Las muestras para coliformes totales y fecales se analizaron en el (LDIA), el análisis de arsénico se realizó en el (CICAM), mientras que las demás muestras se analizaron en el Laboratorio de ASA.

## **2.3 Evaluación de parámetros en laboratorio**

### 2.3.1 Métodos para análisis de parámetros físicos

- **Análisis de sólidos**

Para determinar los sólidos por gravimetría, se prepararon tres crisoles de porcelana. Dos de ellos se dejaron vacíos y el tercero se llenó con un papel filtro. Luego, se lavaron con agua desionizada y se colocaron en la estufa a 105 °C durante 24 horas con el fin de asegurar la precisión en la medición. Después de un período de 24 horas, los recipientes se ubicaron en el desecador durante 30 minutos para que se enfriaran. Finalmente, se pesaron en una balanza y se registraron los datos obtenidos.



**Figura 16.** Crisoles en la estufa

- **Sólidos Totales**

Para determinar los sólidos totales, se homogenizó la muestra. Se extrajeron 25 mL de la muestra con una pipeta y se depositaron en un crisol previamente pesado. Posteriormente, se llevó el crisol con la muestra a una estufa a 105 °C durante 24 horas, durante las cuales el agua se evaporó por completo. Pasado el tiempo, se colocó el crisol en el desecador durante una hora. Una vez que el crisol se enfrió, se pesó rápidamente para evitar que el residuo se degradara. Finalmente, se registraron los datos. La diferencia entre el peso del crisol con los sólidos y el peso del crisol vacío se consideró como el peso de los sólidos totales.

$$ST = \frac{P2 - P1}{Vm} * 1000$$

**Ecuación 6.** Sólidos totales (UTP, 2006)

**Donde:**

P2= Peso del residuo seco + crisol tarado (mg)

P1= Peso del crisol tarado (mg)

Vm= Volumen de muestra (mL)

Los cálculos realizados para obtener la concentración de sólidos totales se detallan en el Anexo V.

- **Sólidos disueltos totales**

Para homogeneizar la muestra de agua, se realizó una agitación previa. Posteriormente, se extrajeron 25 mL de la muestra con una pipeta y se vertieron sobre un filtro y un Kitasato, logrando así la filtración completa. Se utilizó una pinza para recoger el papel filtro y se colocó sobre el crisol que había sido previamente pesado. El agua restante se depositó en otro crisol. Con el objetivo de eliminar el agua presente, se colocaron los crisoles en una estufa a 105 °C durante 24 horas. Una vez completado el secado, se retiraron de la estufa y se colocaron en un desecador durante una hora para que alcanzaran la temperatura ambiente. Finalmente, se pesaron de inmediato para evitar que el peso se modificara por la absorción de humedad o la descomposición del residuo.

$$ST = \frac{P2 - P1}{Vm} * 1000$$

**Ecuación 7.** Sólidos disueltos totales (UTP, 2006)

**Donde:**

P2= Peso del residuo seco + crisol tarado + papel filtro (mg)

P1= Peso del crisol tarado + papel filtro (mg)

Vm= Volumen de muestra (mL)

Los cálculos realizados para obtener este parámetro se detallan en el Anexo V.

### **2.3.2 Métodos para análisis de parámetros químicos**

- **Alcalinidad**

Para determinar la alcalinidad de la muestra de agua, se prepararon los materiales necesarios para el proceso de titulación como un soporte universal, pinzas para bureta y una bureta de 25 mL. Luego, se homogeneizó la muestra de agua y se colocaron 100 mL de muestra en un matraz. Se midió el pH de la muestra y, como este fue menor a 8,3, se registró existencia de alcalinidad total. Primero se agregaron tres gotas de indicador de fenolftaleína. Si la muestra de agua contenía carbonatos, la fenolftaleína se tornaba de color rosa. Sin embargo, como la muestra no cambió de color, se concluyó que los carbonatos eran iguales a cero. A continuación, se agregaron 2 gotas de indicador naranja de metilo. Este indicador cambia de color de amarillo a naranja en presencia de

bicarbonatos. Se agregó una pequeña cantidad de solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a un vaso de precipitados y luego se transfirió a la bureta. Se realizó una titulación, observando un cambio de color de amarillo a naranja tenue. El volumen de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  utilizado se registró.



**Figura 17.** Análisis alcalinidad

$$\text{Alcalinidad} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{A \times N \times 5000}{V_m}$$

**Ecuación 8.** Determinación de alcalinidad (IDEAM, 2012)

**Donde:**

A = Volumen de gastado  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (mL)

N = Normalidad de  $\text{H}_2\text{SO}_4$

$V_m$  = Volumen de muestra (mL)

Para mayor información sobre los cálculos realizados para este parámetro, consulte el Anexo V.

- **Dureza Total**

Para determinar la dureza total del agua, se preparó un soporte universal con pinzas para bureta y una bureta de 25 mL. Luego de homogeneizar la muestra, se colocaron 50 mL en un matraz Erlenmeyer, seguido de 4 gotas de buffer de dureza para mantener el pH durante la titulación. Se agregó una pizca de indicador negro de eriocromo y se homogeneizó. Finalmente, se tituló la muestra con EDTA 0.01 M hasta observar un cambio de color a azul marino, lo que indica la unión del EDTA a los iones de calcio y magnesio, determinando así la dureza total.



**Figura 18.** Material para determinar dureza

$$\text{Dureza Total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{V_{\text{EDTA}} \times M_{\text{EDTA}} \times 100091}{V_{\text{MUESTRA}}}$$

**Ecuación 9.** Determinación de dureza total (IDEAM, 2007)

**Donde:**

$V_{\text{EDTA}}$  = Volumen de gastado de ácido EDTA (mL)

$M_{\text{EDTA}}$  = Molaridad de ácido EDTA

$V_{\text{MUESTRA}}$  = Volumen de muestra (mL)

100091 = Peso atómico del carbonato de calcio

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Para determinar la demanda química de oxígeno (DQO) de una muestra de agua, se utilizó el método de espectrofotometría. Primero, se homogeneizó la muestra de agua para asegurar la uniformidad de la muestra. Luego, se precalentó el digestor a 150 °C para asegurar que la temperatura de digestión sea constante. Se prepararon dos viales de DQO: un vial blanco con 2 mL de agua destilada y un vial de muestra con 2 mL de muestra de agua. Los viales se colocaron a un ángulo de 45 °C para facilitar la mezcla. Se taparon herméticamente los viales y se agitaron cuidadosamente durante 2 minutos para mezclar la muestra con los reactivos. Luego, se destaparon los viales y se dejaron escapar los gases. Los viales se colocaron en el digestor precalentado y se mantuvieron a 150 °C durante 2 horas. Tras finalizar la digestión, los viales se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 minutos. Posteriormente, se colocaron en el espectrofotómetro para medir la absorbancia de la solución. Los datos obtenidos fueron registrados para su posterior análisis.

- **Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)**

Debido a que los resultados del análisis de la DQO fueron inferiores al valor establecido en la normativa, se determinó que la muestra de agua no contenía materia orgánica representativa. Por lo tanto, se omitió el análisis de la DBO5.

- **Fosfatos**

Para analizar la concentración de fosfatos, se empleó un espectrofotómetro UV-Visible. Se prepararon dos probetas de 25 mL: una para la muestra y otra para el blanco. En la probeta de la muestra, se añadieron 25 mL de agua, 1 mL de molibdato de amonio y 1 mL de solución de reactivo de aminoácido con una pipeta Pasteur. La probeta del blanco contenía 25 mL de agua desionizada y la misma cantidad de reactivos, ambas probetas se taparon y se agitaron suavemente, dejándolas reposar durante 10 minutos. Finalizado el tiempo de reacción, se introdujeron la muestra y el blanco en las celdas correspondientes. Los valores obtenidos fueron registrados para su análisis.



**Figura 19.** Material para análisis de fosfatos

- **Hierro total**

Para evaluar la concentración de hierro total en una muestra, se utilizó un espectrofotómetro UV-Visible. Se prepararon dos celdas de 10 mL cada una. En la primera celda, se colocaron 10 mL de la muestra sin adición de reactivo, funcionando como blanco de referencia. En la segunda celda, se añadieron 10 mL de la misma muestra junto con el reactivo FerroVer. Se mezcló suavemente con movimientos circulares y se dejó reposar durante 3 minutos para asegurar la completa reacción con el hierro presente. Después del tiempo de reposo, se colocó el blanco en el espectrofotómetro para calibrar el equipo. A continuación, se introdujo la muestra y se procedió con la medición. Los valores obtenidos fueron registrados para su análisis posterior.

- **Manganeso**

Se realizó el análisis de manganeso utilizando un espectrofotómetro UV-Visible. Se prepararon dos celdas con 10 mL de agua destilada (blanco) y 10 mL de muestra, respectivamente. En ambas celdas, se añadió el reactivo en polvo de ácido ascórbico y se disolvió invirtiendo las celdas. En ambas celdas se añadieron 12 gotas de la solución alcalina de cianuro y se mezcló con movimientos circulares. Luego, se añadieron 12 gotas del indicador PAN 0.1% y se mezcló nuevamente. Se dejó reposar la solución durante 2 minutos. Transcurrido el tiempo de reacción, se colocó el blanco en el espectrofotómetro para calibrar el equipo. Luego, se colocó la muestra y se realizó la medición. Se registraron los valores obtenidos.

- **Nitratos**

Para determinar nitratos en una muestra, se empleó un espectrofotómetro UV-Visible. Se prepararon dos celdas de 10 mL cada una. En ambas celdas se añadieron 10 mL de la muestra. Posteriormente, se adicionó el reactivo NitraVer 5 únicamente a la celda de la muestra y se mezcló cuidadosamente invirtiendo la celda. Se dejó reposar la solución durante 5 minutos para permitir la completa reacción con los nitratos presentes. Al finalizar el tiempo de reacción, se colocó la celda del blanco en el espectrofotómetro para realizar la medición de referencia. Posteriormente, se introdujo la celda de la muestra y se realizó la medición. Los datos de absorbancia obtenidos para ambas celdas se registraron para su posterior análisis.

- **Sulfatos**

Para determinar sulfatos en una muestra, se empleó un espectrofotómetro UV-Visible. Se prepararon dos celdas de 10 mL cada una. Ambas celdas se llenaron con 10 mL de la muestra. Posteriormente, se adicionó el reactivo SulfaVer 4 únicamente a la celda de la muestra y se mezcló. Se dejó reposar la solución durante 5 minutos para permitir la completa reacción con los sulfatos presentes. Transcurrido, el tiempo de reacción, se introdujo la celda del blanco en el espectrofotómetro para realizar la medición de referencia. Luego, se colocó la celda de la muestra y se realizó la medición. Los datos de absorbancia de ambas celdas se registraron.

- **Cloro libre y total**

Para determinar el cloro total o cloro libre residual en una muestra de agua, se utilizó un colorímetro. Se prepararon dos celdas de colorímetro: una para el blanco y otra para la muestra. En cada celda se colocaron 10 mL de muestra. En la celda de la muestra, se

agregó el reactivo Cloro total o Cloro Free, según el caso. Se mezcló invirtiendo y se dejó reposar durante 3 minutos. Finalizado el tiempo de reacción, se introdujo el blanco en el colorímetro para realizar la medición de referencia, también conocida como "encerar" el equipo. Posteriormente, se colocó la muestra y se midió su absorbancia. Se registraron los valores obtenidos.



**Figura 20.** Análisis de cloro

- **Arsénico**

La determinación de este parámetro se realizó en el Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), se utilizó el método de Absorción atómica por generador de hidruros. Ver Anexo IV

### **2.3.3 Análisis de parámetros microbiológicos**

- **Coliformes totales y coliformes fecales**

Para determinar la presencia de coliformes en una muestra de agua, se realizó una prueba presuntiva. En esta prueba, se inocularon 1 mL de cada dilución de la muestra (diluciones de  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ ) en tubos de ensayo con 9 mL de caldo lactosado preparado previamente por el personal técnico del laboratorio del LDIA. Los tubos se incubaron a 35 °C durante 48 horas. Tras este tiempo, se observaron los tubos para detectar la presencia de gas en las campanas Durham.



**Figura 21.** Análisis de coliformes

## **2.4 Análisis del Índice de Calidad del Agua ICA (SNET, 2019)**

El Índice de Calidad del Agua se calculó siguiendo el método propuesto por Brown en 1970 (citado en Luque, 2005). Este método se basa en la Ecuación 10, que suma de forma lineal nueve parámetros físico-químicos y microbiológicos.

$$\text{ICA} = \sum_{i=1}^9 (\text{Sub}_i * w_i)$$

**Ecuación 10.** Determinación de ICA-NSF (SNET, 2019)

**Donde:**

$w_i$ = Pesos relativos asignados a cada parámetro

$\text{Sub}_i$ = Subíndice de cada parámetro

Los pesos de los parámetros se determinan de acuerdo con la importancia relativa que tienen para la calidad del agua. En el caso de Ecuador, los pesos de los parámetros para el cálculo del ICA son los siguientes:

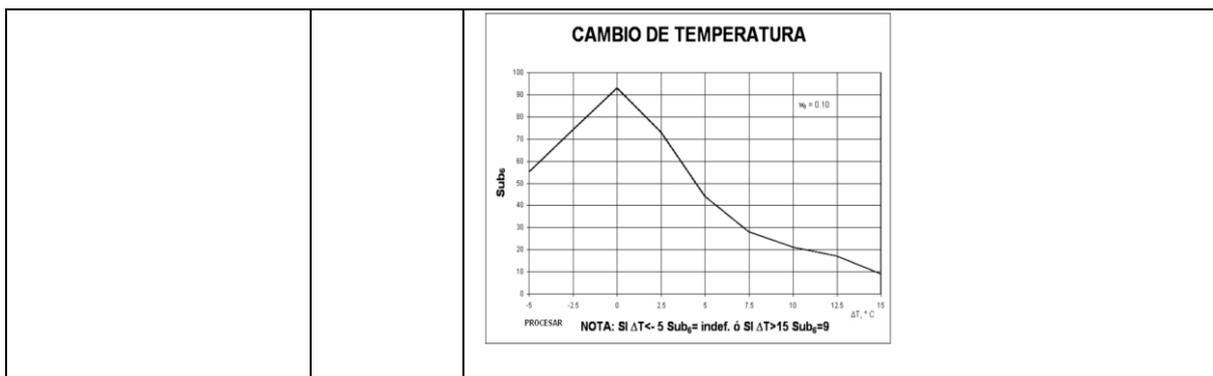
**Tabla 7.** Ponderación de subindicadores (SNET, 2019)

<i>i</i>	<i>Sub<sub>i</sub></i>	<i>W<sub>i</sub></i>
1	Coliformes fecales	0,15
2	pH	0,12
3	DBO5	0,10
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Cambio de temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	Sólidos disueltos totales	0,08
9	Saturación de oxígeno disuelto	0,17

El siguiente paso realizado para determinar el ICA, fue el cálculo individual de cada parámetro con la ayuda de las siguientes funciones presentadas en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Funciones de los subíndices de ICA-NSF Brown (1970) (Luque, 2005)

Parámetro	Unidad	Función de Subíndice
Coliformes fecales	NMP	$SI_{CF} = e^{(4.5922 - 0.1063 \ln(CF) - 0.0152 [\ln(CF)]^2)}$ Si $CF > 10^5/100 \text{ mL}$ , $Sub_i = 2$
DBO <sub>5</sub>	mg/L	$SI_{DBO_5} = e^{(4.5824 - 0.1078 DBO_5 + 2.4581 \times 10^{-14} * e^{DBO_5})}$ Si $DBO_5 > 30 \text{ mg/L}$ , $Sub_i = 2$
Fosfatos	mg/L	$SI_{PO_4} = \frac{1}{0.0084 + 0.0143 PO_4 + 0.00074 (PO_4)^2}$ Si $PO_4 > 10 \text{ mg/L}$ , $Sub_i = 2$
Nitratos	mg/L	$SI_N = e^{(4.4706 - 0.043N + 2.8813 \times 10^{-5} * N^2)}$ Si $N > 100 \text{ mg/L}$ , $Sub_i = 1$
%Sat de OD	%Sat	$SI_{\%Sat} = e^{(1.3663 + 0.063\%Sat - 0.000303\%Sat^2)}$ Si $\%Sat > 140$ , $Sub_i = 50$
pH	-	$SI_{pH} = e^{(-7.6434pH + 18.5352 \frac{1}{pH} + 14.625 * [\ln(pH)]^2)}$ Si $pH < 2 \text{ mg/L}$ , $Sub_i = 2$ ó Si $pH > 12$ , $Sub_i = 3$
Sólidos disueltos (SDT)	mg/L	$SI_{SDT} = \frac{1}{0.0123 - 1.3545 \times 10^{-5} SDT + 9.265 * 10^{-8} SDT^2}$ Si $SDT > 500 \text{ mg/L}$ , $Sub_i = 20$
Turbiedad	NTU	$SI_{Turb} = e^{(4.561 - 0.0196Turb + 2.4167 * 10^{-5} Turb^2)}$ Si $Turb > 100 \text{ NTU}$ , $Sub_i = 5$
Temperatura	°C	$Sub_T = T^\circ \text{ ambiente} - T^\circ \text{ agua}$ Si $\Delta T > 15 \text{ °C}$ , $Sub_i = 9$ , Si $\Delta T < 15 \text{ °C}$ buscar valor en la siguiente figura:



Después de haber encontrado el valor del ICA, se utilizó la escala diseñada para la interpretación del valor obtenido del índice, como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Clasificación del ICA de Brown (1970) (García, Osorio, & Saquicela, 2021)

Valor del ICA	Clasificación	Color
91-100	Excelente	Azul
71-90	Buena	Verde
51-70	Mediana	Amarillo
26-50	Mala	Naranja
0-25	Muy mal	Rojo

## 2.5 Propuesta de mejoras al hipoclorador por goteo

El método actual de desinfección del agua en Tolontag, implementado por la JAAPS, se basa en la aplicación de hipoclorito de sodio mediante un hipoclorador con goteo constante.

Para determinar la población de la comunidad de Tolontag, se realizó un análisis de los datos demográficos de la parroquia de Pintag, a la que pertenece la comunidad. La Tabla 10 del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia presenta la información sobre la evolución de la población en diferentes censos.

**Tabla 10.** Crecimiento Poblacional (GAD PINTAG, 2019)

Población según censos							
Año	1950	1962	1974	1982	1990	2001	2010
<b>Población</b>	5986	6516	7483	9335	11484	14487	17930

La elección del método de cálculo de la población se basó en el análisis de la curva de crecimiento poblacional y su tendencia ascendente. En este contexto, se seleccionó el método geométrico como el más adecuado para calcular la población futura. La Ecuación 11 se utilizó para calcular la tasa de crecimiento anual de la población entre 1950 y 2010,

a partir de los datos de los censos realizados. Finalmente, se calculó la tasa de crecimiento promedio para obtener una estimación más precisa.

$$r = \left[ \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{T_{uc}-T_{ci}}} - 1 \right]$$

**Ecuación 11.** Tasa de crecimiento poblacional (Granados, 2016)

**Donde:**

r = Tasa de crecimiento poblacional

P<sub>ci</sub> = Población del censo inicial (hab)

P<sub>uc</sub> = Población del último censo (hab)

T<sub>ci</sub> = Año del censo inicial

T<sub>uc</sub> = Año del último censo

A partir de la tasa de crecimiento poblacional promedio, se calculó la población actual de la comunidad de Tolontag. Para ello, se consideró un promedio de 3 habitantes por hogar, según datos del número de usuarios del sistema de agua potable de la JAAPS. Posteriormente, utilizando la Ecuación 12 y la población actual como base, se estimó la población futura de la comunidad para el año 2055.

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

**Ecuación 12.** Población futura (Granados, 2016)

**Donde:**

P<sub>f</sub> = Población futura (hab)

r = Tasa de crecimiento poblacional

P<sub>uc</sub> = Población del último censo (hab)

T<sub>uc</sub> = Año del último censo

T<sub>f</sub> = Año de la población proyectada

Con la población actual y futura de la comunidad de Tolontag como base, se estimó el caudal medio de agua que ingresa a la planta de tratamiento. El cálculo se realizó para el año 2055, utilizando la Ecuación 13.

$$Q_{med} = \frac{P * D}{86400}$$

**Ecuación 13.** Caudal medio que ingresa a la planta de tratamiento (EMAAP , 2008)

**Donde:**

P = Población (hab)

D = Dotación de agua para zona rural (L\*hab/día)

Se calculó la cantidad de hipoclorito de sodio requerida para mantener la calidad del agua potable basándose en el caudal de agua que entra en la planta de tratamiento. Se empleó la Ecuación 14 para llevar a cabo este cálculo.

$$P = \frac{Q_i * T * C_2}{10 * \% \text{ Cloro}}$$

**Ecuación 14.** Cantidad de hipoclorito de sodio (COSUDE, 2019)

**Donde:**

$Q_i$  = Caudal de ingreso al reservorio (L/s)

$C_2$  = Concentración de cloro a nivel de reservorio (mg/L)

%Cloro = concentración de hipoclorito de sodio 5%

T = Período de recarga (s)



**Figura 22.** Hipoclorito de sodio

Utilizando la Ecuación 15, se calculó el caudal de goteo necesario para el riego durante T días. De esta manera, se pudo ajustar el dispositivo de goteo para un suministro adecuado de agua durante el período de riego previsto.

$$Qg = \frac{V_{tc}}{T}$$

**Ecuación 15.** Caudal de goteo (COSUDE, 2019)

**Donde:**

$V_{tc}$ = Volumen del tanque del hipoclorador por goteo (mL)

T = Tiempo de goteo

A partir del caudal de goteo calculado, se determinó el número de gotas que deberían caer por minuto, considerando que el volumen de una gota es de 0,25 mL. (USGS, 2015)



**Figura 23.** Hipoclorador con flotador

Posteriormente, para utilizar el sistema hipoclorador, se verificó que la concentración de la solución clorada no superara las 5000 ppm mediante la aplicación de la Ecuación 16.

$$C_1 = \frac{P * \%Cloro}{V_{tc}} ; C_1 \leq 5000 \text{ mg/L}$$

**Ecuación 16.** Caudal de goteo (COSUDE, 2019)

**Donde:**

P = peso de hipoclorito de sodio

%Cloro concentración de hipoclorito de sodio, 5%

$V_{tc}$ = Volumen del tanque del hipoclorador por goteo (mL)

Para garantizar la eliminación de microorganismos perjudiciales para la salud de los pobladores de la comunidad, se calculó el tiempo de contacto con la ayuda de la Ecuación 17.

$$T_c = \frac{\text{Volumen del tanque}}{Q_i}$$

**Ecuación 17.** Tiempo de contacto (FPA, 2017)

**Donde:**

$T_c$ =Tiempo de contacto (s)

V= Volumen del tanque de reacción (L)

$Q_i$ = Caudal que ingresa al reservorio (L/s)



**Figura 24.** Tanque de contacto

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Descripción de puntos de muestreo

La Tabla 11 presenta una codificación completa de todos los puntos de muestreo del sistema de abastecimiento de agua de la JAAPS de la comunidad de Tolontag.

**Tabla 11.** Puntos de muestreo

Puntos GPS	Código	Lugar	Este	Norte	Cota [msnm]
1	P1	Tanque de captación	799611	9960810	3637
2	P2	Entrada a la planta de tratamiento	796618	9962131	3053

3	P3	Salida de la planta de tratamiento	796595	9962116	2874
4	P4	Casa 1	794984	9963904	2736
5	P5	Casa 2	793983	9963263	2749

### 3.2 Resultados obtenidos en el muestreo

Los parámetros en el sitio (conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbiedad) se analizaron en el tanque de captación y en la entrada a la planta de tratamiento. Mientras que, en el tanque de captación, también se realizaron análisis de laboratorio. Las evaluaciones de laboratorio se realizaron para determinar los parámetros químicos, físicos y microbiológicos (arsénico, alcalinidad, dureza total, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, hierro total y ferroso, fosfatos, manganeso, nitratos, sulfatos, sólidos totales, sólidos disueltos totales, coliformes totales y coliformes fecales).

Para evaluar la calidad de la fuente hídrica, se utilizó la Norma INEN 1108, que establece los requisitos para el agua de consumo humano. Esta norma es emitida por una entidad estatal, lo que la hace más confiable. Además, permite establecer estándares de calidad. También se consideró el Acuerdo Ministerial 097, esta norma establece límites máximos permisibles para los parámetros de calidad del agua. De esta manera, se puede determinar si la fuente hídrica cumple o no con los estándares establecidos. Además, se puede brindar una explicación técnica del estado de la fuente hídrica.

La Tabla 12 presenta los resultados de los análisis in situ de los parámetros de calidad del agua en el tanque de captación y en la entrada a la planta de tratamiento. Para los parámetros especificados se incluyen los LMP de la normativa ya mencionada. Se detalla en la discusión de cada parámetro que, en ausencia de criterios específicos en la normativa ecuatoriana, se han tomado en consideración las normas internacionales para su análisis.

**Tabla 12.** Resultados de análisis de parámetros in situ

Parámetro	Unidad	Muestras			AM 097	INEN 1108	Si cumple/No cumple
		P1	P2	P3			
Conductividad	μS/cm	233	233	-	1500	-	Si cumple

Porcentaje de saturación del OD	% sat	89,3	81,0	-	No menor al 80%	-	Si cumple
Oxígeno disuelto	mg/L	6,68	7,32	-	No menor a 6 mg/L	-	Si cumple
pH	-	6,65	7,05	7,15	6.0 - 9.0	6.5 - 8.0	Si cumple
Temperatura	°C	14,18	13,76	-	Condición natural +/- 3 grados		Si cumple
Turbidez	NTU	0,33	0,69	-	10	5	Si cumple

La Tabla 13 presenta los resultados de los análisis físicos y químicos de los parámetros de calidad del agua en el tanque de captación. Se incluyen los límites máximos permisibles de la norma NTE INEN 1108 y AM 097 para los parámetros especificados en estas normas.

**Tabla 13.** Resultados de análisis de parámetros físicos y químicos

Parámetro	Unidad	Muestras	AM 097	INEN 1108	Si cumple/No cumple
		P1			
Arsénico	mg/L	<0,005	0,1	0,01	Si cumple
Alcalinidad	mg/L	73	-	-	-
Dureza total	mg/L	100,09	500	-	Si cumple
DBO <sub>5</sub>	mg/L	<2	<2	-	Si cumple
DQO	mg/L	<4	<4	-	Si cumple
Fosfatos	mg/L	0,19	-	-	-
Hierro total	mg/L	0,07	1,0	0,3	Si cumple
Manganeso	mg/L	0,042	1,0	0,4	Si cumple
Nitratos	mg/L	0,7	50	50	Si cumple
Sólidos Totales	mg/L	208	500	-	Si cumple
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	176	500	1000	Si cumple
Sulfatos	mg/L	0,1	500	-	Si cumple

La Tabla 14 presenta los resultados de los análisis microbiológicos obtenidos del agua de la entrada y salida de la planta de tratamiento. Se incluyen los LMP de la NTE INEN 1108 y AM 097 para los parámetros especificados en estas normas.

**Tabla 14.** Resultados de análisis de parámetros microbiológicos.

Parámetro	Unidad	Muestras		AM 097	INEN 1108	Si cumple/No cumple
		P2	P3			
Coliformes Totales	NMP/100 mL	<1.1	<1.1	1000		Si cumple
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	<1.1	<1.1	50	<1.1	Si cumple

Finalmente, la Tabla 15 presenta los resultados del análisis de la concentración de cloro en el agua en la salida de la planta de tratamiento, y las dos últimas casas del sistema de abastecimiento de agua potable de la JAAPS. Se incluyen los LMP de la NTE INEN 1108 y AM 097 para los parámetros especificados en estas normas.

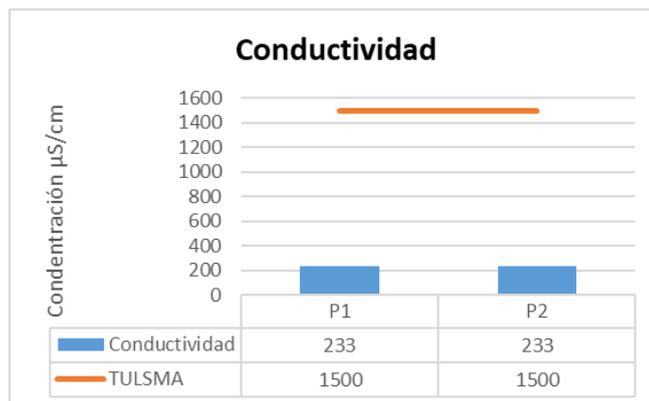
**Tabla 15.** Resultados de análisis de la concentración de cloro

Parámetro	Unidad	Muestras			AM 097	INEN 1108	Si cumple/No cumple
		P3	P4	P5			
Cloro Total	mg/L	0,58	-	-	-	-	-
Cloro libre residual	mg/L	0,75	0,57	0,2	-	0,3 - 1,5	No cumple

### 3.3 Análisis de resultados de parámetros in situ

- **Conductividad**

En Ecuador, la norma INEN 1108 no contempla un límite para la conductividad del agua. Sin embargo, el AM 097, establece un valor máximo de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la conductividad del agua cruda que se destina al consumo humano.



**Figura 25.** Resultados de análisis de conductividad en agua cruda

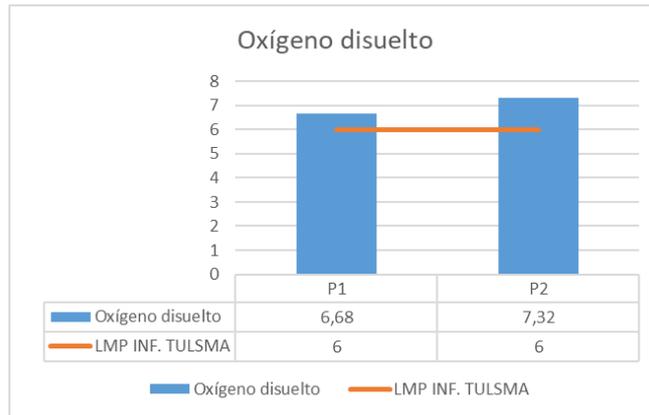
Dado que los resultados obtenidos en los puntos pertenecientes al tanque de captación y a la entrada a la planta de tratamiento fueron inferiores al límite máximo permisible previamente mencionado, se concluye que la conductividad del agua cumple con los estándares nacionales de calidad, la baja conductividad del agua se explica por la escasa presencia de sales suspendidas.

La conductividad del agua guarda una relación directa con la cantidad de sales disueltas (SDT) presentes en ella. Estas sales se separan en iones con carga positiva y negativa, lo que posibilita la transmisión de electricidad. En otras palabras, a mayor conductividad, mayor será la concentración de SDT, y viceversa. De esta manera, la medición de la conductividad permite estimar la cantidad de SDT en el agua.

- **Oxígeno Disuelto**

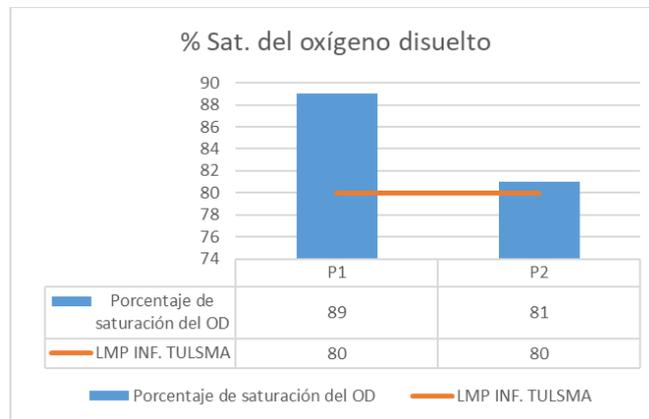
El oxígeno disuelto juega un papel fundamental en la calidad del agua. El AM 097, establece un límite mínimo de 6 mg/L y un 80% de saturación para este parámetro. Niveles superiores a estos valores indican una mejor calidad del agua, ya que el oxígeno es esencial para la vida acuática y puede mejorar el olor, sabor y claridad del agua.

Como se muestra en la Figura 26, la concentración de oxígeno disuelto en los puntos 1 y 2 pertenecientes al tanque de captación y entrada a la planta de tratamiento cumplen con el límite mínimo establecido en la normativa vigente. Por tanto, se interpreta que el agua cumple con los estándares de calidad establecidos para el uso de agua para consumo humano, los niveles de concentración de oxígeno disuelto obtenidos, se deben a que el agua se encuentra en una zona alejada, por tanto, no hay actividad antropogénica cercana, reduciendo la contaminación, de igual forma el agua se encuentra en constante movimiento lo que ayuda a la aireación de esta, logrando concentraciones de oxígeno disuelto elevadas.



**Figura 26.** Resultados de análisis del oxígeno disuelto en agua cruda

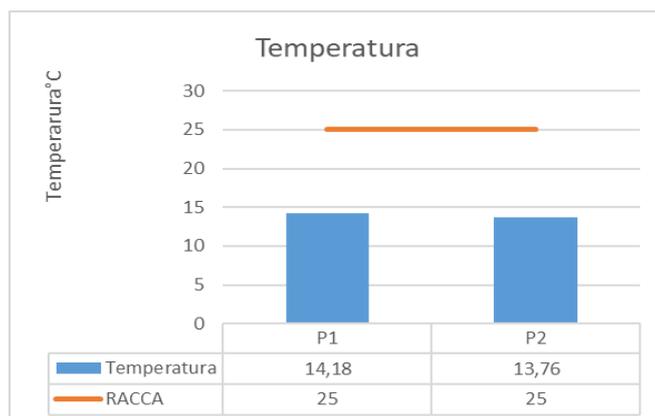
En la Figura 27 se muestra el porcentaje de saturación para los puntos 1 y 2 del muestreo realizado, dichos porcentajes son superiores al límite mínimo establecido en la normativa, por tanto, se cumple con los estándares de calidad establecidos por la normativa. Sin embargo, en el punto 1 perteneciente al tanque de captación, el porcentaje de saturación es cercano al límite mínimo establecido, esto puede deberse a las variaciones en las condiciones meteorológicas o temperatura del agua.



**Figura 27.** Resultados de análisis del porcentaje de saturación oxígeno disuelto en agua cruda

- **Temperatura**

En la normativa nacional, no se establecen los límites máximos permisibles para este parámetro, sin embargo, en el Reglamento Ambiental para el Control de la Calidad del Agua para el Consumo Humano (MAATE, 2018), se indica que la temperatura del agua debe permanecer no mayor a 25 °C en condiciones naturales.



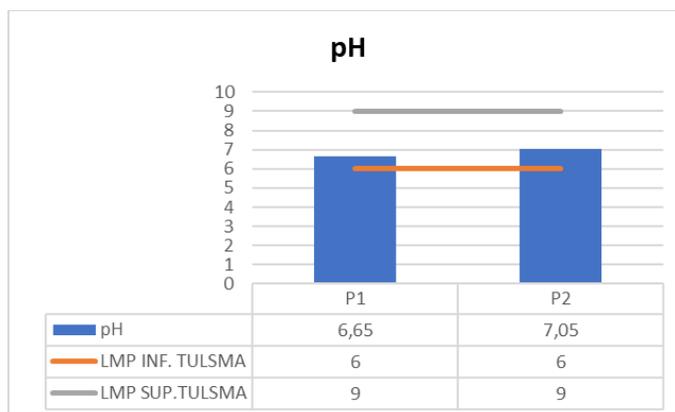
**Figura 28.** Resultados de análisis de la temperatura en agua cruda

Los resultados derivados del análisis de temperatura en los puntos designados muestran valores que se sitúan dentro del límite máximo permitido mencionado anteriormente. Es esencial tener en cuenta que la temperatura puede variar según la región y las condiciones climáticas. La determinación de la temperatura del agua es crucial, ya que puede contribuir a anticipar o confirmar otras condiciones del agua, dado que está vinculada con otros parámetros de calidad como el oxígeno disuelto y la DBO5.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

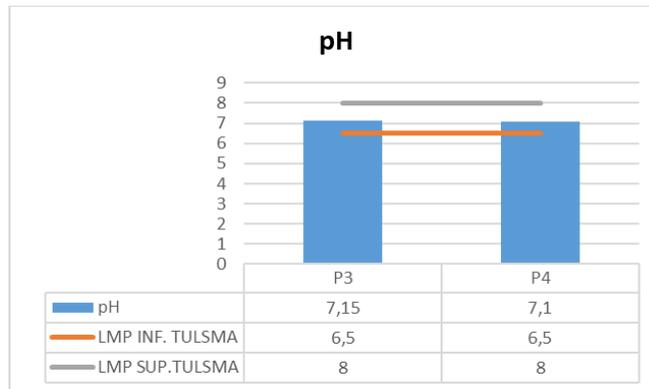
Conforme al AM 097 se establece un valor admisible de pH que se encuentre en el rango de 6 a 9 para agua cruda. Mientras que, para el agua potable, en la norma INEN 1108 se establece un valor aceptable de 6.5 a 8.

Los resultados obtenidos en la determinación de pH en el agua cruda, cumple con el límite establecido en la normativa.



**Figura 29.** Resultados de análisis de pH en agua cruda

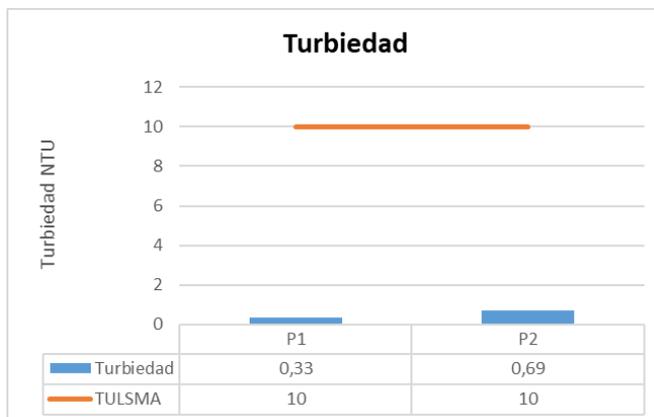
Los resultados obtenidos en la determinación de pH en el agua ya tratada, misma que los pobladores consumen, se encuentran dentro del rango de los límites permisibles expuestos en la norma como se muestra en la Figura 30, por tanto, se concluye que el consumo de esta agua no generará preocupaciones de salud relacionadas con el pH. Además, se elimina la posibilidad de corrosión en el sistema de tuberías y electrodomésticos.



**Figura 30.** Resultados de análisis de pH en agua potable

- **Turbiedad**

En el AM 097 se establece un valor aceptable de 10 NTU para agua cruda.



**Figura 31.** Resultados de análisis de turbiedad en agua cruda

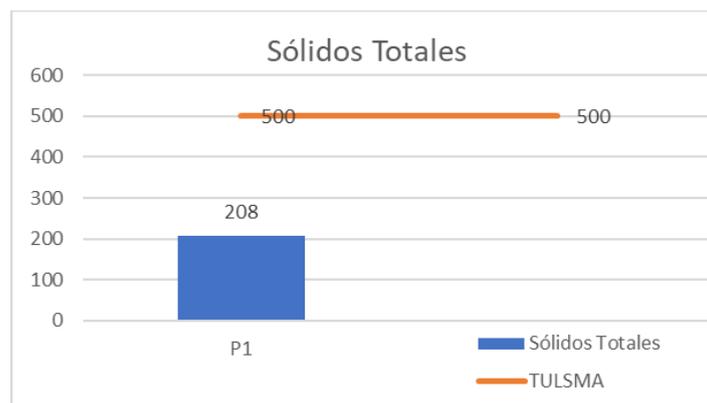
Como se visualiza en la Figura 31, los valores de turbiedad obtenidos en el análisis del agua cruda, cumplen con los estándares de calidad establecidos en la normativa. Por su parte, la turbiedad se encuentra directamente relacionada con los sólidos suspendidos (SST), es decir, si se presentan niveles altos de turbiedad, se puede deducir que es porque existe mayor presencia de SST, sin embargo, al obtener concentraciones de turbiedad bajas, se descarta la presencia de partículas en suspensión en el agua.

### 3.4 Análisis de resultados de parámetros de laboratorio

#### 3.4.1 Análisis de resultados de parámetros físicos

- **Sólidos totales (ST)**

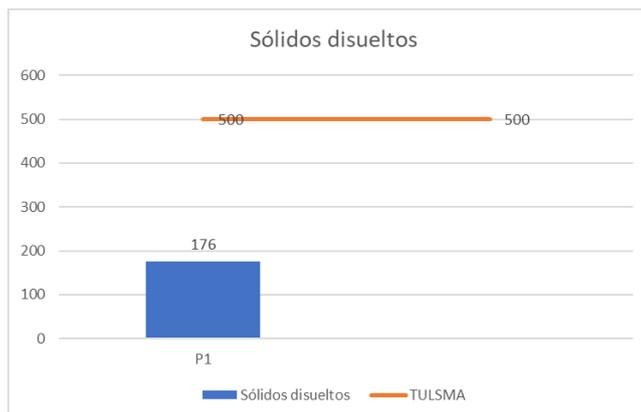
El AM 097, establece un valor aceptable de 500 mg/L para sólidos totales en aguas crudas. Por consiguiente, como se visualiza en la Figura 32 el resultado obtenido en el análisis desarrollado para determinar la concentración de sólidos totales se encuentra dentro del límite permisible expuesto anteriormente, esto se debe a que la naturaleza subterránea del agua explica la ausencia de partículas suspendidas, ya que en este tipo de fuentes el movimiento del agua es menos turbulento y más lento que en las superficiales. Las características de las fuentes subterráneas, como su baja turbulencia y velocidad, permiten que las partículas se depositen en el suelo, mientras el agua continúa su curso libre de sedimentos.



**Figura 32.** Resultado de análisis de sólidos totales en agua cruda.

- **Sólidos disueltos totales (SDT)**

Conforme se presenta en el AM 097, el valor admisible es de 500 mg/L de sólidos disueltos totales para aguas crudas. Por tanto, como se visualiza en la Figura 33, el resultado obtenido en el análisis de dicho parámetro sí cumple con los estándares de calidad mencionados en la normativa.

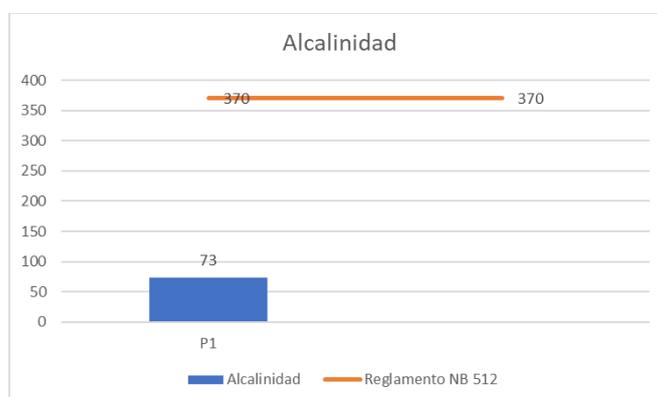


**Figura 33.** Resultado de análisis de sólidos disueltos totales en agua cruda.

### 3.4.2 Análisis de resultados de parámetros químicos

- **Alcalinidad**

Para el agua sin tratar, la normativa no fija límites máximos permitidos para el parámetro de alcalinidad, sin embargo, se han considerado regulaciones internacionales como el Reglamento NB 512 - NB 495 – NB 496 (MMAyA, 2018), que establece un valor de referencia de guía de 370 mg/L.

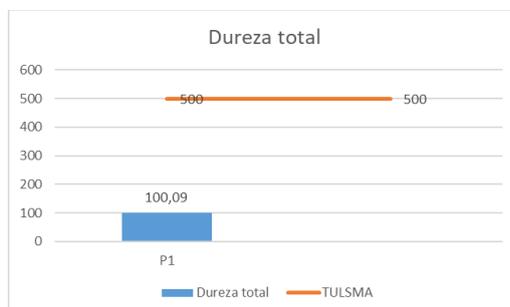


**Figura 34.** Resultado de análisis de alcalinidad en agua cruda.

En el caso del resultado obtenido en el análisis de la alcalinidad, este cumple con el valor admisible expuesto por el reglamento citado como se refleja en la Figura 34. Esto indica que el agua analizada no representa un riesgo directo para la salud de los consumidores, y se descarta la posibilidad de obstrucciones en los accesorios y dispositivos de la red de suministro hídrico.

- **Dureza total**

Los cálculos efectuados para este parámetro se encuentran explicados en el Anexo V. Para el agua en su estado natural, la norma AM 097 establece un límite máximo permitido de 500 mg/L.



**Figura 35.** Resultado de análisis de dureza total en agua cruda.

El valor obtenido en el análisis desarrollado para determinar la dureza total en el agua fue de 100,09 mg/L, por tanto, como se presenta en la Figura 35, dicho resultado cumple con los estándares establecidos por la normativa.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El AM 097, establece un límite aceptable máximo de <4 mg/L de DQO en aguas crudas. En el desarrollo del análisis para determinar la demanda química de oxígeno en el agua, se obtuvo un valor por debajo del rango de medida por lo que se reportó un valor <4 mg/L, cumpliendo así con los estándares de calidad establecidos por la normativa vigente. Como resultado, se evidencia una baja presencia de contaminación de origen orgánico.

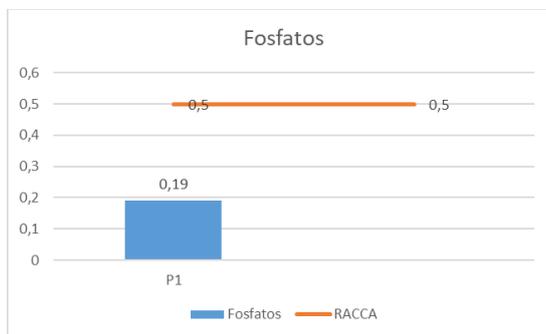
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (DBO5)**

Debido a los resultados obtenidos en la demanda química de oxígeno, se decidió no realizar el análisis de la DBO5. Se registraron valores inferiores a 2 mg/L, lo cual está dentro del límite máximo permitido de <2 mg/L de DBO en aguas crudas según el AM 097. Por lo tanto, el agua cumple con los estándares establecidos por la normativa vigente.

- **Fosfatos**

Las regulaciones ecuatorianas INEN 1108 y AM 097 no establecen límites máximos permitidos para los fosfatos. Este parámetro proporciona información sobre la presencia de contaminantes derivados de fertilizantes, detergentes o abonos orgánicos. Sin embargo, el nivel de concentración de fosfatos en el agua analizada fue de 0,19 mg/L, lo cual es relativamente bajo en comparación con el valor permitido de 0,5 mg/L establecido por el Reglamento Ambiental para el Control de la Calidad del Agua para el Consumo Humano

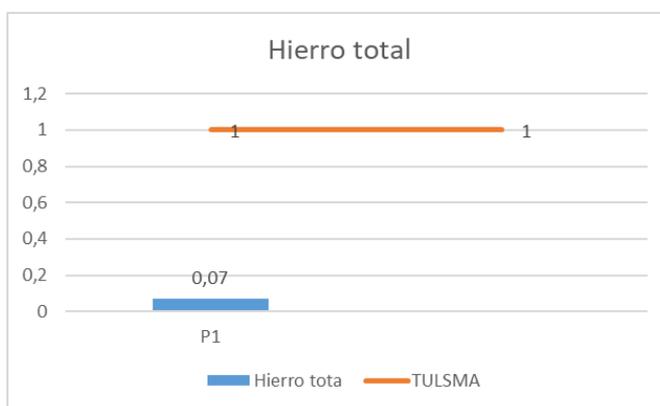
(MAATE, 2018). Por lo tanto, se puede inferir que este parámetro podría cumplir con los estándares de calidad.



**Figura 36.** Resultado de análisis de fosfatos en agua cruda.

- **Hierro total**

El AM 097 establece un límite aceptable de 1,0 mg/L de hierro total en agua cruda. El valor obtenido durante el análisis de este parámetro fue de 0,07 mg/L, lo cual cumple con los estándares de calidad del agua según la normativa. Por lo tanto, no se anticipa la presencia de un sabor metálico desagradable ni problemas estéticos relacionados con manchas de color rojo o naranja en accesorios (duchas, lavanderías, lavamanos). Además, no se observa ningún riesgo para la salud de los consumidores.

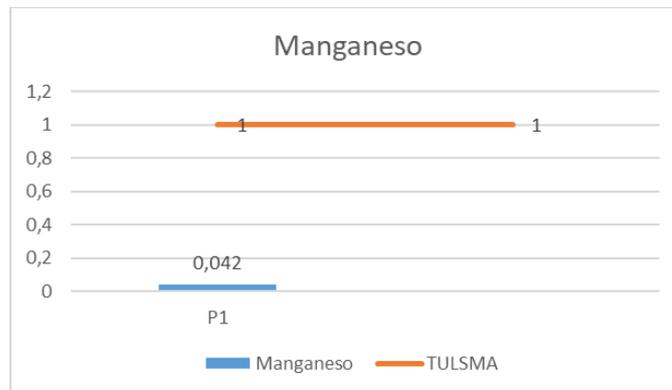


**Figura 37.** Resultado de análisis de hierro total en agua cruda.

- **Manganeso**

Este parámetro se encuentra dentro de los estándares de calidad establecidos por la normativa ecuatoriana, ya que no excede el límite máximo permitido, el cual es de 0,1 mg/L según el AM 097. Como se muestra en la Figura, no se anticipan efectos perjudiciales para la salud de los consumidores, ni problemas de corrosión o incrustaciones en la red de

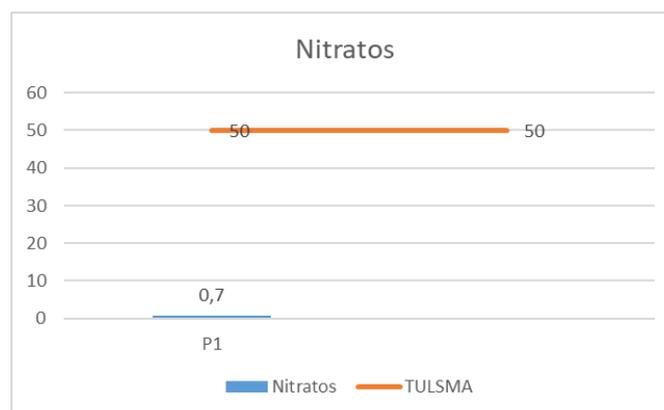
suministro de agua (tuberías, accesorios), ni tampoco afectaciones en el olor y sabor del agua.



**Figura 38.** Resultado de análisis de manganeso en agua cruda.

- **Nitratos**

Según el AM 097, se dispone un valor máximo aceptable de 50 mg/L para aguas crudas, por consiguiente, la concentración de nitratos obtenido en el desarrollo del análisis de este parámetro fue de 0,7 mg/L, por tanto, el agua cumple con los valores aceptables emitidos por la normativa vigente. Debido a la escasa concentración de este elemento nutritivo, se descarta la contaminación provocada por la actividad ganadera o agrícola. Aunque este compuesto se encuentra naturalmente en el agua, su incremento se atribuye a la actividad humana.

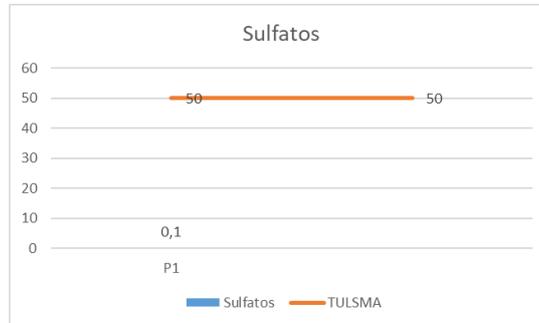


**Figura 39.** Resultado de análisis de nitratos en agua cruda.

- **Sulfatos**

Conforme a la norma AM 097, se establece un valor máximo aceptable de 500 mg/L para aguas crudas, por consiguiente, la concentración de sulfatos obtenido en el desarrollo del análisis de este parámetro fue de 0,1 mg/L, por tanto, el agua cumple con los valores

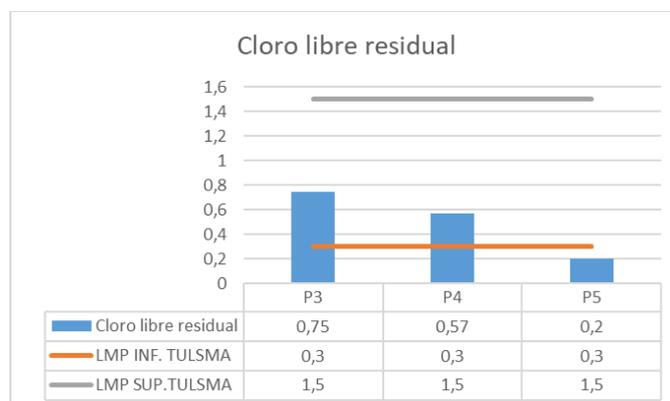
aceptables emitidos por la normativa nacional. Debido a la baja concentración de sulfatos, se descarta contaminación por actividades industriales y agrícolas, cabe reconocer que este compuesto se encuentra de forma natural, sin embargo, su aumento en la concentración se debe a las actividades ya mencionadas.



**Figura 40.** Resultado de análisis de sulfatos en agua cruda.

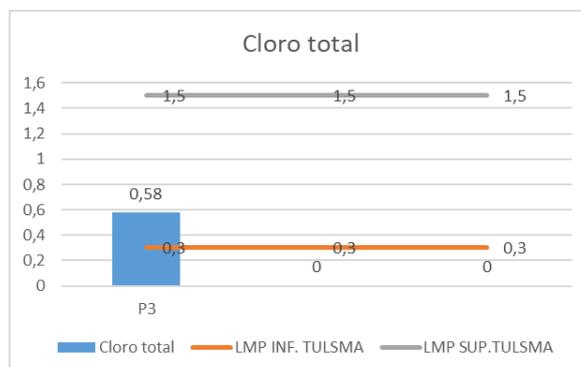
- **Cloro libre y total**

Según lo establecido por la Norma INEN 1108, el límite mínimo permisible es de 0,3 mg/L y el límite máximo permisible es de 1,5 mg/L para el cloro libre residual en agua potable, y así garantizar un agua de calidad, que no perjudique a la población. Según los resultados obtenidos en el análisis de este parámetro, las concentraciones de cloro en el punto 3 y 4 cumplen con los valores aceptables, sin embargo, dichos valores son cercanos al límite permisible inferior, por otra parte, la concentración de cloro libre residual en el punto 5, es inferior a límite mínimo permisible, incumpliendo la normativa nacional, esto se debe a que el proceso de desinfección no está siendo realizado de forma correcta por el personal encargado, por tal razón es necesario, mejorar el tratamiento de desinfección para así lograr obtener valores deseados en la concentración de cloro libre residual.



**Figura 41.** Resultado de análisis de cloro libre residual en agua potable.

La normativa ecuatoriana no establece un límite máximo permisible para el cloro total, sin embargo, se tomaron como referencia los valores emitidos para el cloro libre residual. El resultado obtenido para este parámetro, es muy cercano al límite inferior, al igual que el anterior caso esto se debe por un incorrecto desarrollo del proceso de desinfección al agua.



**Figura 42.** Resultado de análisis de cloro total en agua potable.

- **Arsénico**

Según el informe de resultados obtenido y emitido por el CICAM, el agua contiene una concentración  $<0,005$  mg/L de arsénico, según el AM 097, se fija un valor admisible de 0,1 mg/L para aguas crudas, por consiguiente, debido a que el valor obtenido es inferior al límite máximo permisible establecido, este parámetro cumple con la normativa nacional. Por tanto, se descartan problemas de salud para los usuarios, asociados a este elemento.

### 3.4.3 Análisis de resultados de parámetros microbiológicos

- **Coliformes totales**

Los resultados obtenidos en el laboratorio para coliformes totales, para los puntos de muestreo definidos, indican valores que se encuentran por debajo de las 1.1 NMP/100 mL, se llegó a este valor, debido a que transcurrido el tiempo de incubación no se visualizó la presencia de gas en las campanas Durham, por tanto, se descartó la presencia de coliformes. En la norma INEN 1108, se indica la ausencia de coliformes totales, debido a que los valores obtenidos tienden a cero y se espera que el proceso de desinfección elimine los patógenos presentes en el agua. Por lo tanto, podemos concluir que este parámetro cumple con las regulaciones nacionales actuales.

- **Coliformes fecales**

Los valores obtenidos en el análisis de coliformes fecales, para los puntos de muestreo definidos, indican valores que se encuentran por debajo de la 1.1 NMP/100 mL, según los

establecido por el AM 097 el límite máximo permisible es de 1000 NMP/100 mL. Esto sugiere que se ajusta a los estándares establecidos por la normativa en vigor. Debido a que los valores obtenidos son bajos, se descarta contaminación microbiológica en la fuente de captación, red de tubería y tanques de almacenamiento, esto se debe a que no existe actividad ganadera o agrícola cerca de la fuente de captación y las red de tuberías se encuentra enterrada, mientras que los tanques de almacenamiento se encuentran cercados y tapados, evitando así el ingreso de animales o manipulación por parte de personas no autorizadas para la operación y mantenimiento de los mismos.

### 3.5 Determinación de Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para determinar el índice de calidad de la fuente de captación del agua del sistema de abastecimiento de la JAAPS de la comunidad de Tolontag, se consideraron los resultados obtenidos en los análisis previamente realizados in situ o en laboratorio de nueve parámetros. La evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA) se fundamentó en la metodología propuesta por Brown, una adaptación del Water Quality Index (WQI). En este método, cada parámetro considerado tiene asignados pesos relativos, cuya suma total es igual a 1, y subíndices que se calculan mediante ecuaciones aritméticas y gráficas.

Nota: Para calcular el subíndice del parámetro de temperatura, se llevó a cabo la medición tanto de la temperatura del agua como de la temperatura ambiente. En el caso específico de la comunidad de Tolontag, durante el día de muestreo, la temperatura ambiente se mantuvo alrededor de los 15 °C. La Tabla 16 detalla los parámetros considerados para este cálculo, los resultados obtenidos en los análisis previos, los pesos relativos asignados a cada parámetro, los subíndices derivados mediante las ecuaciones aritméticas previamente presentadas en dicha tabla, y por último, el valor del Índice de Calidad del Agua (ICA) obtenido con los datos mencionados, correspondiente al punto 1 ubicado en el tanque de captación.

**Tabla 16.** Resultado del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Parámetro	Unidad	Resultados	Wi	Sub i	Wi*Sub i
Coliformes Fecales	NMP/100	<1,1	0,15	98,7	14,8
DBO5	mg/L	<2	0,1	87,8	8,8
Fosfatos	mg/L	0,19	0,1	89,7	9,0
Nitratos	mg/L	0,7	0,1	84,8	8,5

Oxígeno disuelto	%sat	89,3	0,17	97,1	16,5
pH	-	6,65	0,12	86,2	10,3
Sólidos disueltos totales	mg/L	176	0,08	78,2	6,3
Temperatura	°C	14,18	0,1	90,0	9,0
Turbiedad	NTU	0,33	0,08	95,1	7,6
<b>ICA</b>					<b>91</b>

- **Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)**

De esta forma fue como se obtuvo el valor de 91 del ICA:

$$\text{ICA} = [(98,7 * 0,15) + (87,8 * 0,1) + (89,7 * 0,1) + (84,8 * 0,1) + (97,1 * 0,17) + (86,2 * 0,12) + (78,2 * 0,08) + (90,0 * 0,1) + (95,1 * 0,08)]$$

$$\text{ICA} = 91$$

El valor obtenido de la calidad del agua en el punto 1 (tanque de captación) es de 91, el cual, según la Tabla 17, entra en el rango de 91 a 100 catalogándose como un agua de excelente calidad. Se llegó a esta conclusión debido a que los resultados obtenidos en los análisis de los parámetros considerados fueron mínimos en comparación a los límites máximos admisibles en las normativas vigentes que controlan la calidad del agua, en este caso la calidad del agua cruda con fin de uso para el consumo humano.

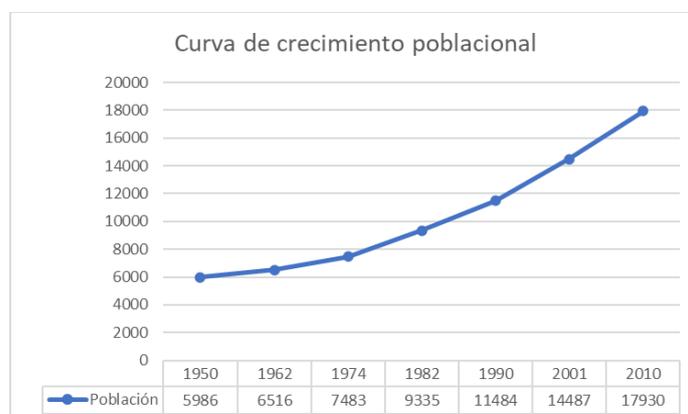
**Tabla 17.** Clasificación de la calidad del agua según el ICA

Valor del ICA	Clasificación	Color
91-100	Excelente	

### 3.6 Propuesta de mejoras al hipoclorador por goteo

Con el objetivo de optimizar el proceso de tratamiento actual el cual consiste en desinfectar el agua mediante un hipoclorador por goteo constante y el desinfectante es el hipoclorito de sodio al 5%, fue necesario realizar algunos cálculos, para garantizar que el agua es apta para el consumo en toda la comunidad.

Con ayuda de los datos poblacionales de la parroquia de Pintag, a la cual pertenece la comunidad de Tolontag – Marco, se obtuvo la curva de crecimiento poblacional, para así poder elegir el método de cálculo de población. Como se presenta en la Figura 43.



**Figura 43.** Curva de crecimiento poblacional

Al ser la curva en sentido ascendente, se optó usar el método geométrico para el cálculo de la población futura de la comunidad y así también calcular la tasa de crecimiento de la población para ello se usaron los datos de los censos realizados entre 1950 y 2010 se calculó la tasa de crecimiento poblacional promedio a partir de todas las tasas de crecimiento individuales, como se presenta en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Tasa de crecimiento poblacional de Pintag

Año	Población	r
1950	5986	0,0185
1962	6516	0,0213
1974	7483	0,0246
1982	9335	0,0236
1990	11484	0,0225
2001	14487	0,0240
2010	17930	
PROMEDIO		0,0224

Fue necesario calcular la población actual de la comunidad de Tolontag - Marco, para ello se tomó en cuenta el número de usuarios del sistema de abastecimiento de la JAAPS, y se asumió que por cada casa habitan 3 personas, en la Tabla 19 se muestra el número de usuarios de todo la red de suministro hídrico y el total de habitantes de la comunidad. Con la tasa de crecimiento promedio obtenida y la población actual de la comunidad se calculó la población futura para el 2055, por el método geométrico.

**Tabla 19.** Población actual y futura de Tolontag – Marco

N° usuarios	1372
Hab/casa	3
Población actual de Tolontag-Marco	4116
Población futura de Tolontag-Marco	8180

Posteriormente, se calculó el caudal medio, mismo que es el que ingresa actualmente e ingresará para el año 2055 a la planta de tratamiento, para dicho cálculo se asumió que la dotación en la zona es de 150 L\*hab/día. En la Tabla 20 se muestran los caudales mencionados.

**Tabla 20.** Caudales de ingreso a la planta de tratamiento

Caudal	2024	2055
Q (L/s)	7,15	14,20

Luego de determinar el caudal, se calculó la cantidad de hipoclorito de sodio necesaria para una semana. La Tabla 21 muestra la cantidad de hipoclorito de sodio requerida para el caudal actual y el caudal futuro.

**Tabla 21.** Cantidad de hipoclorito de sodio

Caudal	Día	Peso de Hipoclorito de sodio (P, g)	Peso de Hipoclorito de sodio (P kg)	Volumen de Hipoclorito de Sodio L
7,2	7	1297,3	1,3	1,2
14,2	7	2576,4	2,6	2,3

Las cantidades de hipoclorito de sodio calculadas son las adecuadas para preparar 500 litros de solución madre. Para ello, se mezclará el hipoclorito con agua hasta completar el volumen total. La solución madre descenderá por una tubería de ½ pulgada hasta un recipiente de 40 litros con un flotador y un grifo. Ajustando el caudal de goteo, se podrá dosificar la solución madre para 7 días, de acuerdo al caudal de ingreso de agua.

El caudal de goteo se calcula en función del volumen del tanque hipoclorador y el tiempo de recarga. Para este caso, se obtuvo un caudal de 50 mL/minuto. Este caudal se ajusta manualmente en el grifo. Se determinó que el número de gotas por minuto necesarias para una dosificación adecuada es de 200.

La concentración de la solución clorada es crucial para la desinfección. Debe mantenerse por debajo de 5000 ppm. La Tabla 22 muestra las concentraciones alcanzadas con diferentes caudales de goteo.

**Tabla 22.** Concentraciones máximas de la solución clorada

<b>Qg (mL/min)</b>	<b>V soluc. Madre (L)</b>	<b>Concentración máxima C1 (mg/L)</b>	<b>Cumple con concentración máxima</b>
35	353	36514	Si
36	363	35500	Si
37	373	34541	Si
38	383	33632	Si
39	393	32769	Si
40	403	31950	Si
41	413	31171	Si
42	423	30429	Si
43	433	29721	Si
44	444	29045	Si
45	454	28400	Si
46	464	27783	Si
47	474	27191	Si
48	484	26625	Si
49	494	26082	Si

El tiempo de contacto en el tanque de reacción fue inferior a 30 minutos para ambos caudales. La bibliografía recomienda un tiempo mínimo de 30 minutos para obtener una desinfección óptima. En consecuencia, se sugiere prolongar el tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua a al menos 30 minutos.

Se han realizado análisis para mejorar la desinfección del agua potable, ya que el proceso actual presenta deficiencias que generan una baja concentración de cloro. El encargado

del hipoclorador ha indicado que se realizan prácticas incorrectas, como la aplicación de hipoclorito de sodio puro sin preparar una solución madre. Además, el goteo no es constante, pues el operador solo lo abre durante su jornada laboral, lo que limita su funcionamiento a menos de 24 horas. Por último, el tiempo de contacto del desinfectante con el agua es nulo, ya que el agua ya está circulando hacia los hogares cuando se añade el hipoclorito. Para solucionar estas deficiencias, se propone implementar medidas que garanticen una correcta dosificación y un tiempo de contacto adecuado del desinfectante con el agua.

## 4 CONCLUSIONES

- El plan de muestreo implementado demostró ser un instrumento fundamental para la correcta recolección de muestras de agua, asegurando la representatividad del recurso y, en consecuencia, la precisión de los resultados en la caracterización del agua.
- La comunidad de Tolontag - Marco goza de un agua de abastecimiento de calidad excepcional. Esta afirmación se sustenta en los análisis realizados a sus aspectos físicos, químicos y microbiológicos, los cuales arrojan valores que se ubican holgadamente dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana para agua potable, por otra parte, el valor obtenido en la determinación del ICA, es otro indicativo de que el agua es de excelente calidad.
- Los resultados obtenidos en la caracterización no solo avalan la seguridad del agua para el consumo humano, sino que también descartan cualquier riesgo para la salud de la población. En este sentido, el tratamiento necesario se limita a una desinfección final para eliminar posibles microorganismos presentes.
- La calidad del agua que disfruta Tolontag-Marco se debe a dos factores fundamentales: protección eficaz de la fuente de agua debido a que han implementado medidas para resguardar la fuente de posibles contaminaciones, asegurando la pureza del agua desde su origen y a la gestión eficiente del sistema de abastecimiento, la administración del sistema se realiza de manera responsable, garantizando la distribución de agua potable en óptimas condiciones.
- Existen deficiencias en la desinfección del agua potable en la comunidad, se llega a esta conclusión debido a que los análisis realizados en las últimas casas evidencian una concentración de cloro inferior a la establecida en la normativa ecuatoriana, las causas principales de esta problemática son: la dosificación inadecuada de hipoclorito de sodio, la cantidad utilizada no es suficiente para garantizar la eliminación de microorganismos patógenos; por otra parte, el goteo inconsistente del hipoclorador, el flujo no es constante, lo que genera una desinfección irregular del agua; finalmente, el tiempo de contacto insuficiente, el agua no permanece el tiempo necesario en contacto con el cloro para asegurar la eliminación de patógenos.
- La propuesta se basa en tres pilares fundamentales: dosificación precisa de cloro, en función del caudal y demanda de cloro; tiempo de contacto adecuado, ampliar

el tiempo de contacto del agua con el cloro a un mínimo de 30 minutos; goteo constante, para así garantizar que la desinfección sea regular.

## **5 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda continuar con la evaluación regular de la calidad del agua para asegurar que se mantenga en niveles óptimos, de esta forma se puede identificar posibles contaminantes en el agua y garantizar que el agua cumple con los estándares de calidad establecidos por la normativa ecuatoriana.
- Implementación de mejoras al tratamiento de desinfección con hipoclorito de sodio, en base a los resultados del estudio y análisis realizados a las concentraciones de cloro, se recomienda implementar la propuesta de mejora al tratamiento de desinfección. La implementación de esta propuesta de mejora representa una inversión en la salud y bienestar de la comunidad, es importante destacar que la comunidad debe estar comprometida con el uso responsable del agua y la protección de las fuentes hídricas, solo así se podrá garantizar la sostenibilidad del sistema de agua a largo plazo.
- Se recomienda la adquisición de un equipo para medir la concentración de cloro, la importancia de esto es porque el cloro es un elemento esencial para la desinfección del agua potable, eliminando microorganismos, patógenos y protegiendo la salud de la población, de esta forma se asegura que el tratamiento de desinfección se está realizando de forma efectiva y que la concentración de cloro se encuentra dentro de los rangos establecidos por la normativa ecuatoriana.

## 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEIAS. (2023). *Guía de Buenas Prácticas para el Manejo de los Fosfatos en la Industria*. Obtenido de AEIAS.
- AEIAS. (2023). *Guía de Buenas Prácticas para el Manejo de Muestras*. Quito, Ecuador. Obtenido de AEIAS.
- ASTM. (2022). *ASTM D1889-09: Standard Test Method for Turbidity of Water by Nephelometric Method*. West Conshohocken, PA: ASTM International. Obtenido de ASTM.
- ASTM. (2022). *ASTM D5220-19: Standard Test Method for Five-Day Biochemical Oxygen Demand (BOD5) of Water*. West Conshohocken, PA: ASTM International. Obtenido de ASTM.
- ASTM. (2023). *ASTM D1293-95: Standard Test Method for pH of Water*. Obtenido de ASTM: <https://www.astm.org/book/astm-d1293-95-standard-test-method-ph-of-water>
- ASTM. (2023). *ASTM D1126-19: Standard Test Method for Determination of Total Hardness of Water*. West Conshohocken, PA: ASTM International. Obtenido de ASTM.
- ASTM. (2023). *ASTM D1193-13: Standard Test Method for Temperature of Water*. West Conshohocken, PA: ASTM International. Obtenido de ASTM.
- ASTM. (2023). *ASTM D827-16: Standard Test Method for Chemical Oxygen Demand of Water*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Castillo, J., Espinoza, C., Nuñez, C., & Zamorano, G. (2004). *Modelo de simulación para la calidad del agua en un río*. Obtenido de U-cursos: [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CI51D/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=46871](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2004/2/CI51D/1/material_docente/bajar?id_material=46871)
- COSUDE. (2019). *Memoria descriptiva de instalación de un hipoclorador por goteo con flotador*. Obtenido de Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación.
- EMAAP. (2008). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE PARA LA EMAAP-Q*. Obtenido de EMAAP.

- España, E. (2021). *Calidad del agua de consumo*. Obtenido de Gob.es: [https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/aguas/aconsumo/Doc/INFORME\\_AC\\_2021\\_OK.pdf](https://www.sanidad.gob.es/profesionales/saludPublica/saludAmbLaboral/aguas/aconsumo/Doc/INFORME_AC_2021_OK.pdf)
- FPA. (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural*. Obtenido de Fondo Perú-Alemania.
- GAD PINTAG. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia Pintag: <https://pintag.gob.ec/wp-content/uploads/2022/03/Actualizacion-PDOT-Pintag-2021.pdf>
- García, J., Osorio, M., & Saquicela, R. (2021). *Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los*. Obtenido de Universidad UTE: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/download/13921/13774/66072>
- Granados, M. d. (2016). *TECNICAS DE PROYECCIONES DE POBLACION DE AREAS MENORES*. Obtenido de Repositorio Cepal: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/905cf71e-dd95-4c18-8c9b-d392fff670c5/content>
- IDEAM. (2007). *Dureza Total en Agua con EDTA por Volumetría*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>
- IDEAM. (2012). *Determinación de alcalinidad*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Alcalinidad+total+en+agua+por+electrometr%C3%ADa..pdf/dd9a3610-8ff7-49bc-97eb-5306362466df>
- INECC. (2021). *Límites máximos permisibles de contaminantes en agua*. México D.F. Obtenido de México: INECC.
- INECC. (2021). *Muestreo de agua para la evaluación de la calidad del agua*. México D.F. Obtenido de México: INECC: [https://sinaica.inecc.gob.mx/documentos/documentos/documento\\_2022\\_0001.pdf](https://sinaica.inecc.gob.mx/documentos/documentos/documento_2022_0001.pdf)
- IWA. (2022). *IWA-124: Determination of Biochemical Oxygen Demand (BOD) in Water*. Obtenido de London, UK. IWA Publishing.
- IWA. (2022). *IWA-125: Determination of Chemical Oxygen Demand (COD) in Water*. Obtenido de London, UK. IWA Publishing.

- IWA. (2022). *IWA-129: Determination of Dissolved Oxygen in Water by the Winkler Method*. Obtenido de London, UK. IWA Publishing.
- Luque, N. (2005). *Análisis de la intervención del Plan de Mejoramiento Ambiental de la parte alta de la Cuenca del río Virilla, Costa Rica*. Obtenido de Bidigital.
- MAATE. (2018). *Plan de Acción Nacional para la Calidad del Agua (PANCA)*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador: <https://www.ambiente.gob.ec/plan-de-accion-nacional-para-la-calidad-del-agua-panca/>
- MAATE. (20 de Diciembre de 2018). *Reglamento Ambiental para el Control de la Calidad del Agua para el Consumo Humano*. Obtenido de MAATE: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/12/REACACH-2018-09-20.pdf>
- MADSC. (2019). *Guía para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA)*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/20052>
- MMAyA. (Octubre de 2018). *Compendio Normativo sobre Calidad del Agua para Consumo Humano NB 512 - Reglamento NB512 - NB 495 . NB 496*. Obtenido de bivica: <https://www.bivica.org/files/normativa-calidad-agua.pdf>
- Montgomery, H. A. (1964). *Determination of dissolved oxygen in water by the Winkler method and the solubility of oxygen in pure water and sea water* 14(4), 280-287. Obtenido de Journal of Applied Chemistry.
- Naciones Unidas. (2022). *Agua para el desarrollo sostenible* . Obtenido de ONU: <https://www.un.org/es/chronicle/article/agua-para-el-desarrollo-sostenible>
- Navarro Alvargonzález, A., Fernández Uría, A., & Doblas Domínguez, J. G. (1993). *Las aguas subterráneas en España*. Obtenido de Igme.es: [https://www.igme.es/igme/publica/libros1\\_HR/libro20/lib20.htm](https://www.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro20/lib20.htm)
- NTE INEN. (2023). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1107. Agua para consumo humano. Requisitos*. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador.
- OMS. (2011). *Arsenic in drinking-water. Geneva, Switzerland* . Obtenido de OMS.

- OMS. (2011). *Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. Geneva, Switzerland*. Obtenido de OMS.
- OMS. (2017). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda*. Obtenido de World Health Organization: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- OMS. (2022). *Calidad del agua: Un enfoque basado en riesgos. Ginebra, Suiza*. Obtenido de OMS Corporation.
- Sánchez, C., & Oyola, L. (2014). *Revisión bibliográfica y análisis comparativo de los principales índices de calidad del agua*. Obtenido de Virtualpro: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/revision-bibliografica-y-analisis-comparativo-de-los-principales-indices-de-calidad-del-agua>
- SNET. (2019). *Determinación del ICA-NSF*. Obtenido de SNET.GOB: <http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf>
- Solís, Castro, Y., Zúñiga, L., & Mora, D. (2018). *La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica*. Obtenido de Revista Tecnología en Marcha: <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- USGS. (2015). *Gotera Acumulada: ¿Cuánta agua se pierde si una llave gotea?* Obtenido de USGS: <https://water.usgs.gov/gotita/sc4.html#:~:text=una%20peque%C3%B1a%20gotera%20tiene%20un,15%2C100%20goteras%20en%20un%20gal%C3%B3n>.
- UTP. (2006). *Determinación de Sólidos Totales, Disueltos y Suspendidos*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Panamá: <https://utp.ac.pa/documentos/2011/pdf/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf>

## **7 ANEXOS**

### **ANEXO I. Turnitin porcentaje máximo 12%**

## ORIGINALITY REPORT

**12%**

SIMILARITY INDEX

**13%**

INTERNET SOURCES

**5%**

PUBLICATIONS

**2%**

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>bibdigital.epn.edu.ec</b> Internet Source	<b>8%</b>
<b>2</b>	<b>hdl.handle.net</b> Internet Source	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.utn.edu.ec</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>bibliotecadigital.infor.cl</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>pdffox.com</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad de Guayaquil</b> Student Paper	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to Escuela Politecnica Nacional</b> Student Paper	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>www.cepis.org.pe</b> Internet Source	<b>&lt;1%</b>

**ANEXO II. Plan de muestreo**

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**PLAN DE MUESTREO**

**LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE  
ABASTECIMIENTO DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA  
POTABLE Y SANEAMIENTO DE TOLONTAG – MARCO**

**CALIDAD DE AGUA**

**MISHEL MORELIA GALLEGOS USHAP**

[mishel.gallegos@epn.edu.ec](mailto:mishel.gallegos@epn.edu.ec)

**DMQ, noviembre, 2023**

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente plan de muestreo tiene como objetivo establecer las directrices para la toma, manejo y transporte de muestras de agua potable en la comunidad de Tolontag-Marco, parroquia de Pintag. Se busca garantizar la representatividad de las muestras y la calidad del agua durante todo el proceso, desde la toma hasta el análisis en el laboratorio.

Los siguientes documentos fueron empleados en la creación del Plan de muestreo de este proyecto:

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI de Calidad Ambiental (2015).
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo (2013).
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras (2013).
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE 1108, Agua para consumo humano. Requisitos (2020).

## 1.1 Objetivo general

- Evaluar integralmente la calidad del agua potable en el sistema de abastecimiento de la comunidad de Tolontag, a través de un muestreo y análisis exhaustivo de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, siguiendo las normas técnicas ecuatorianas.

## 2 Ubicación de los puntos de muestreo

Para determinar los sitios de muestreo, es necesario en primer lugar recopilar información exhaustiva sobre el sistema de abastecimiento de agua potable y llevar a cabo un recorrido para identificar las fuentes de agua y su destino. En este proceso, es esencial que los puntos de muestreo cumplan con los siguientes requisitos:

- Identificación: Los lugares seleccionados para el muestreo deben estar debidamente identificados y, en la medida de lo posible, georreferenciados utilizando coordenadas UTM.

- **Accesibilidad:** Los puntos de muestreo que se elijan deben ser de fácil y rápido acceso, garantizando la seguridad de quienes realizan las tomas de muestras de agua.

En el contexto de este proyecto, se han definido cinco ubicaciones específicas para llevar a cabo el muestreo y la evaluación de la calidad del agua en Tolontag.

- **Punto 1 Tanque de captación:** Una muestra del agua que llega al tanque de captación para evaluar su calidad antes de que se someta a tratamiento.

El agua cruda se transporta a través de una tubería de 5 metros de longitud hasta un tanque de almacenamiento. A este tanque se conectan dos mangueras y un tubo de dos pulgadas, el agua que proviene de las mangueras y el tubo se mezclan para formar un flujo uniforme. Este flujo de agua se envía a la planta de tratamiento para su desinfección.

- **Punto 2 y 3 Planta de tratamiento:** Muestras del agua antes y después del tratamiento para evaluar la efectividad del tratamiento.

El agua cruda que llega al tanque de captación se transporta mediante tuberías de diferentes diámetros durante 2 kilómetros. El agua ingresa a la planta de tratamiento, y es conducida a un tanque de almacenamiento. Desde este tanque, el agua pasa a un sedimentador, donde se eliminan las partículas sólidas en suspensión. Luego, el agua pasa a un filtro de arena, donde se eliminan los contaminantes restantes. Finalmente, el agua llega a un tanque de contacto, donde se desinfecta con cloro. El cloro se añade al agua en forma de hipoclorito de sodio.

- **Punto 4 y 5 Puntos de consumo:** Muestras del agua en dos de las casas más alejadas de la planta de tratamiento para evaluar la efectividad del tratamiento de desinfección al agua.

Tras la desinfección por cloro, la red de tuberías conduce agua a diferentes tanques de almacenamiento. De dichos tanques se derivan tuberías que transportan el agua desde los tanques hasta las viviendas.

**Tabla 1.** Puntos de muestreo

Puntos GPS	Código	Lugar	Este	Norte	Cota [msnm]
1	P1	Tanque de captación	799611	9960810	3637
2	P2	Entrada a la planta de tratamiento	796618	9962131	3053
3	P3	Salida de la planta de tratamiento	796595	9962116	2874
4	P4	Casa 1	794984	9963904	2736
5	P5	Casa 2	793983	9963263	2749

### 3 Parámetros físico-químicos y microbiológicos

A continuación, se detallan los parámetros a analizar y la importancia de su evaluación:

**Tabla 2.** Parámetros de medición in situ

Parámetro	Unidad	Importancia de evaluación
Potencial Hidrógeno	Escala 0-14	El pH del agua es necesario para determinar su calidad porque es un indicador clave de su acidez o alcalinidad. Un pH adecuado es crucial tanto para la salud de los organismos acuáticos como para el uso humano del agua.
Oxígeno Disuelto	mg/L	El oxígeno disuelto (OD) es un factor importante para determinar la calidad del agua. Las plantas y animales acuáticos requieren oxígeno para sobrevivir, y niveles bajos de OD indican contaminación.
Temperatura	°C	La temperatura juega un papel importante en la vida acuática y en la salud de los organismos que la habitan, por otra parte también influye en las reacciones químicas dentro del agua, como por ejemplo la solubilidad de gases y la dilución de las sales.
Conductividad	µS/cm	La conductividad es una medida de la capacidad de una muestra para transmitir corriente eléctrica. Por su parte, también se puede tener un indicio de si el agua contiene sales disueltas, lo cual incrementaría la concentración de conductividad
Turbidez	NTU	La turbiedad es una medida de la claridad relativa de un líquido y está influenciada por partículas suspendidas en el agua, como sedimentos, algas y materia orgánica.

**Tabla 3.** Parámetros de medición en laboratorio

Parámetro	Unidad	Importancia de evaluación
Alcalinidad	--	Conocer la alcalinidad del agua es esencial para comprender su calidad y tomar medidas para mantenerla en niveles adecuados para el bienestar de los organismos acuáticos y los seres humanos.
Arsénico	mg/L	Es necesario medir el arsénico en el agua porque este elemento químico puede estar presente en el agua potable y representar un riesgo para la salud humana. El arsénico es inodoro, insípido e invisible, por lo que no se puede detectar a simple vista.
Dureza Total	mg/L	La dureza del agua puede afectar tanto a la calidad del agua potable como al funcionamiento de los electrodomésticos y las tuberías.
DBO	mg/L	Los niveles altos de DBO y DQO indican una mayor carga de materia orgánica y pueden indicar la presencia de contaminantes.
DQO	mg/L	
Hierro	mg/L	Altos niveles de hierro y manganeso pueden causar problemas de sabor, olor y apariencia en el agua potable. Además, pueden provocar la formación de incrustaciones en las tuberías y equipos de plomería.
Manganeso	mg/L	
Nitratos	mg/L	Los nitratos en el agua subterránea pueden provenir de actividades agrícolas y de tratamiento de aguas residuales.
Fosfatos	mg/L	Los fosfatos en el agua pueden provenir de detergentes y fertilizantes. Altos niveles de fosfatos pueden causar problemas de eutrofización en cuerpos de agua, promoviendo el crecimiento excesivo de algas.
Sólidos Totales (ST), sólidos suspendidos (SS) y sólidos disueltos (SD)	mg/L	La medición de los sólidos en el agua permite determinar la cantidad de materia disuelta y en suspensión presente en la muestra. Estos sólidos pueden tener un impacto significativo en la calidad del agua, como la aparición de turbidez debido a una concentración elevada de partículas suspendidas.
Coliformes Totales	nmp/100 mL	Los coliformes totales y fecales son importantes de medir en el agua debido a que son indicadores de contaminación fecal y de la posible presencia de patógenos, lo cual puede darse por descargas de aguas residuales o actividades ganaderas cerca de la fuente.
Coliformes Fecales	nmp/100 mL	

El muestreo se ha dividido en dos secciones:

Primera etapa: Se realizará la segunda semana de noviembre del 2023, dichas muestras se refrigerarán, y se preservarán durante un día, al día siguiente se analizarán los siguientes parámetros: Sólidos totales, sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza total, hierro total y manganeso. Al siguiente día de la primera etapa se analizarán los siguientes parámetros: DQO, DBO5, fosfatos y sulfatos, dichos análisis serán analizados en el Laboratorio de Tecnología Industrial – Área de Agua y Saneamiento Ambiental. Para el parámetro arsénico este será enviado al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM).

En la semana tres, se realizará el muestreo en donde se tomarán muestras para análisis de coliformes totales y fecales dichas muestras se analizarán en Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA), de igual forma para nitratos, dicha muestra se analizará en el Laboratorio de Tecnología Industrial – Área de Agua y Saneamiento Ambiental.

## **4 Rutas para la toma de muestra**

- **Toma de muestra en el tanque de captación**

El acceso al tanque de captación se realiza a través de una ruta que inicia en la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento (JAAPYS). Se puede subir en camioneta por un camino empedrado durante aproximadamente 3-4 kilómetros (30 minutos). Luego, se debe continuar a pie a partir de una quebrada durante 25 minutos hasta llegar al tanque.

### **Dificultades:**

- Camino difícil: El camino es empedrado y la cuesta es empinada, lo que dificulta el acceso en vehículo. No todos los automóviles pueden subir.
- Presencia de lodo: En época de lluvias, el camino se vuelve fangoso y dificultoso.
- Suelo arenoso en época seca: En época de sol, el suelo se seca y se vuelve arenoso, lo que lo hace resbaladizo y aumenta el riesgo de caídas.

### **Recomendaciones:**

- Utilizar calzado adecuado: Se recomienda usar botas o zapatos con buen agarre para evitar resbalones.
- Tener cuidado en época de lluvias: En época de lluvias, se debe tener especial cuidado al subir y bajar por el camino, ya que puede estar resbaladizo.
- Utilizar un vehículo adecuado: Se recomienda utilizar un vehículo 4x4 o con tracción en las cuatro ruedas para subir por el camino empedrado.

### **Alternativas**

En caso de no poder subir por el camino en vehículo, se puede realizar el recorrido completo a pie. La caminata dura aproximadamente 1 hora y 45 minutos.

- **Planta de tratamiento**

**Acceso en vehículo:**

Desde la quebrada mencionada en la ruta al tanque de captación, la planta de tratamiento se encuentra a unos 15 minutos en vehículo.

**Acceso a pie:**

Si no se dispone de vehículo, se puede llegar a la planta de tratamiento a pie en un descenso de 30 minutos. El camino es empedrado y empinado, pero presenta menor dificultad en comparación a la ruta al tanque de captación.

**Recomendaciones:**

- Utilizar calzado adecuado: Se recomienda usar botas o zapatos con buen agarre para evitar resbalones.
- Tener cuidado al descender: El camino es empedrado y empinado, por lo que se debe tener cuidado al descender.

- **Viviendas seleccionadas**

Las viviendas más alejadas del sistema de abastecimiento se encuentran en los sectores de Tolontag y Marco.

**Vivienda en Tolontag:**

Se encuentra a una distancia de 35 minutos de descenso a pie desde la planta de tratamiento. Se encuentra ubicada cerca del centro del sector Tolontag.

**Vivienda en Marco:**

Se encuentra a una distancia de 30 minutos a pie desde la planta de tratamiento. Se encuentra ubicada en el sector Marco.

La dificultad de las rutas es mínima. La ruta ya no es tan empinada y con zapatos adecuados no se corre el riesgo de caídas.

**Recomendaciones:**

- Utilizar calzado adecuado: Se recomienda usar botas o zapatos con buen agarre para evitar resbalones.

- Hidratarse adecuadamente: Es importante llevar agua consigo para hidratarse durante el recorrido.

## 5 Personal y equipos

El grupo estará conformado por cuatro tésistas, el tutor y un líder o habitante de la comunidad.

Los equipos de campo utilizados se presentan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Lista de equipos para parámetros *In situ*

Equipo	Parámetro a medir
Multiparámetro	Temperatura, oxígeno disuelto, conductividad.
Turbidímetro	Turbidez
pH metro	pH
Colorímetro	Cloro

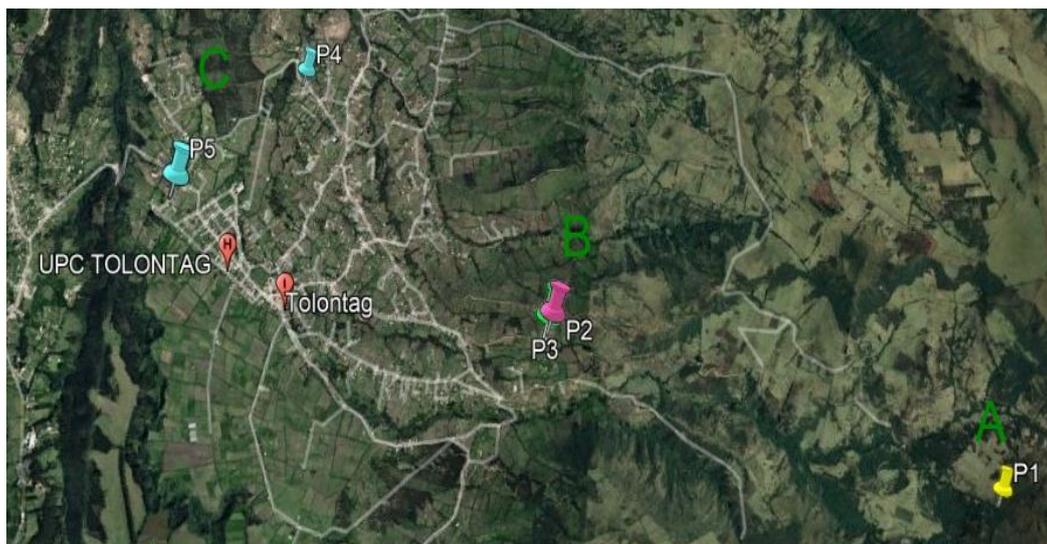
### Materiales para el muestreo del agua

- Fosforera
- Envases de plástico esterilizados y envases de vidrio ámbar.
- Jarra aforada
- Cooler y hielo
- Piseta con agua destilada, papel tissue.
- Reactivos preservantes
- Equipo de protección persona: guantes y mandil.
- Libreta de campo, lapicero y cadena de custodia.

## 6 Toma de muestras, preservación y transporte de muestras

### 6.1 Puntos de muestreo

El muestreo se debe llevar a cabo en los puntos estratégicos en donde todas las muestras sean representativas, para lo cual previamente se ha seleccionado los puntos de muestreo como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Puntos de muestreo

### 6.2 Identificación de muestras

Los recipientes deben estar perfectamente etiquetados e identificados por el código de lugar de la muestra, se debe incorporar información:

- Identificación del punto de muestreo
- Fecha y hora de recolección
- Preservantes adicionales
- Nombre del muestreador

A continuación, en la Figura 2 se presenta la etiqueta a utilizar.

<b>Análisis a realizar:</b>		<b>Lugar de muestreo:</b>	
<b>Fecha de muestreo:</b>		<b>Preservante utilizado:</b>	
<b>Hora de muestreo:</b>		<b>Número de muestra:</b>	
<b>Nombre muestreador:</b>		<b>Tipo de muestra:</b>	

**Figura 2.** Etiqueta

### 6.3 Toma de muestras

Para la toma de muestras es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- **Etiquetado**

Identifique claramente cada envase con una etiqueta que incluya: punto de muestreo, fecha y hora, parámetros a analizar, nombre del recolector.

- **Toma de muestras en tanques**

Sumerja el envase a unos 20 cm de profundidad dentro del tanque, evite agitar el agua al tomar la muestra, llene el envase completamente, sin dejar espacio vacío.

- **Equipo de protección personal**

Use siempre guantes de nitrilo y mandil para evitar la contaminación de la muestra, y siga las normas de seguridad del laboratorio al manipular los materiales.

- **Preparación de envases**

Los envases deben estar químicamente limpios y enjuagados tres veces con agua de la muestra antes de la recolección, esto elimina cualquier residuo que pueda interferir con los análisis.

Excepción: Los envases para análisis microbiológicos no se enjuagan.

#### 6.4 Preservación de muestras

La finalidad de los preservantes es retrasar la acción biológica y perdurar ciertos componentes físicos y químicos con la ayuda de la agregación directa a la muestra de compuestos químicos posteriormente a la extracción. Los procedimientos de preservación integran operaciones como inspección de pH, adición de reactivos, refrigeración y congelación.

De acuerdo con la Norma técnica ecuatoriana, NTE INEN 2169 se establecen las técnicas y precauciones que se deben tomar para conservar las muestras de agua previamente a su análisis.

**Tabla 5.** Técnicas de conservación de muestras de agua

<b>Parámetro</b>	<b>Volumen (mL)</b>	<b>Preservación</b>	<b>Tipo de recipiente</b>	<b>Tiempo de almacenamiento máximo</b>
Alcalinidad	500	Enfriar entre 1°C y 5°C	Vidrio o plástico	24 horas
Arsénico	500	Acidificar entre pH 1- 2 con HCl o HNO <sub>3</sub>	Vidrio o plástico	1 mes
Dureza	100	Acidificar entre pH 1- 2 con HNO <sub>3</sub>	Vidrio o plástico	1 mes
DBO	1000	Enfriar entre 1°C y 5°C	Vidrio o plástico	24 horas
DQO	100	Acidificar entre pH 1- 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o congelar a -20°C	Vidrio o plástico	1 mes

Fosfatos	100	Enfríar entre 1°C y 5°C	Plástico	48 horas
Hierro	100	Acidificar entre pH 1- 2 con HNO <sub>3</sub>	Plástico	1 mes
Manganeso	100	Acidificar entre pH 1- 2 con HNO <sub>3</sub>	Plástico	1 mes
Nitratos	250	Acidificar entre pH 1- 2 con HCl	Vidrio o plástico	1 mes
Sulfatos	200	Enfríar entre 1°C y 5°C	Vidrio o plástico	1 mes
Sólidos Totales (ST)	100	Enfríar entre 1°C y 5°C	Vidrio o plástico	24 horas
Sólidos Disueltos (SD)	100	Enfríar entre 1°C y 5°C	Vidrio o plástico	24 horas
Coliformes Totales	100	Enfríar entre 1°C y 5°C	Plástico	24 horas
Coliformes Fecales	100	Enfríar entre 1°C y 5°C	Plástico	24 horas

**Volumen total:** 3350 mL en el punto 1; Tanque de captación

## ANEXO III. Porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto Corregido

**Tabla 1.** Elevaciones de los puntos de muestreo

Elevación/muestra	Punto 1	Punto 2
Elevación GPS (msnm)	3637	3053

**Tabla 2.** Resultados de temperatura y OD en los puntos de muestreo

Parámetros/Muestra	Punto 1	Punto 2
Temperatura °C	14,18	13,76
Oxígeno disuelto mg/L	5,96	5,93

- Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en Punto 1; Tanque de captación  
Presión atmosférica en función a la elevación:

$$P(h) = 1.033 * \exp^{(-0.000116*3637)}$$

$$P(h) = 498,33 \text{ mmHg}$$

Presión de vapor en función de la temperatura:

$$P_v = e^{(-0,000217744*14,18^2 + 0,07067217*14,18 \pm 5,063447)}$$

$$P_v = 12,13 \text{ mmHg}$$

Corrección en función a la temperatura

$$\frac{10,08 - 10,31}{OD - 10,31} = \frac{15 - 14}{14,18 - 14}$$

$$OD = 10,27 \text{ mg/L}$$

Corrección en función a la presión

$$C_p = \frac{498,33 - 12,13}{760 - 12,13}$$

$$C_p = 0,65$$

Corrección en función de temperatura y presión

$$C_S = 10,27 * 0,65$$

$$C_S = 6,68 \text{ mg/L}$$

Porcentaje de oxígeno disuelto

$$\% \text{ saturación} = \frac{5,96}{6,68} * 100$$

$$\% \text{ saturación} = 89,3\%$$

- Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en Punto 2; Entrada a la planta de tratamiento.

Presión atmosférica en función a la elevación:

$$P(h) = 1.033 * \exp(-0.000116 * 3053)$$

$$P(h) = 533,26 \text{ mmHg}$$

Presión de vapor en función de la temperatura:

$$P_v = e^{(-0,000217744 * 13,76^2 + 0,07067217 * 13,76 \pm 5,063447)}$$

$$P_v = 11,80 \text{ mmHg}$$

Corrección en función a la temperatura

$$\frac{10,31 - 10,54}{OD - 10,52} = \frac{14 - 13}{13,76 - 13}$$

$$OD = 10,50 \text{ mg/L}$$

Corrección en función a la presión

$$C_P = \frac{533,26 - 11,80}{760 - 11,80}$$

$$C_P = 0,70$$

Corrección en función de temperatura y presión

$$C_S = 10,50 * 0,70$$

$$C_S = 7,32 \text{ mg/L}$$

Porcentaje de oxígeno disuelto

$$\% \text{ saturación} = \frac{5,93}{7,32} * 100$$

$$\% \text{ saturación} = 81,0\%$$

Tabla 3. Resultados finales de porcentaje de saturación de OD corregido

<b>Parámetros/Muestra</b>	<b>Punto 1</b>	<b>Punto 2</b>
%OD medido	81,20%	63,90%
%OD corregido	89,3%	81,0%

## **ANEXO IV. Cálculos para determinar alcalinidad, dureza total, sólidos y sólidos disueltos totales**

- **Cálculo para determinación de alcalinidad punto 1; Tanque de captación**

$$A = 7,3 \text{ (mL)}$$

$$N = 0,02$$

$$V_m = 100 \text{ (mL)}$$

$$\text{Alcalinidad} = \frac{7,3 * 0,02 * 50000}{100}$$

$$\text{Alcalinidad} = 73 \text{ mg/L}$$

- **Cálculo para determinación de dureza total punto 1; Tanque de captación**

$$V_{\text{EDTA}} = 5 \text{ (mL)}$$

$$M_{\text{EDTA}} = 0,01$$

$$V_{\text{MUESTRA}} = 50 \text{ (mL)}$$

100091= Peso atómico del carbonato de calcio

$$\text{Dureza Total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{5 * 0,01 * 100091}{50}$$

$$\text{Dureza Total} \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 100,09 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3$$

- **Cálculo para determinación de sólidos totales punto 1; Tanque de captación**

$$\text{Peso 1} = 46,5124 \text{ (g)}$$

$$\text{Peso 2} = 46,5176 \text{ (g)}$$

$$V_m = 0,025 \text{ (L)}$$

$$ST = \frac{46,5176 - 46,5124}{0,025} * 1000$$

$$ST = 208 \text{ mg/L}$$

- **Cálculo para determinación de sólidos disueltos totales punto 1; Tanque de captación**

Peso 1 = 46,6194 (g)

Peso 2 = 46,6238 (g)

Vm = 0,025 (L)

$$ST = \frac{46,6238 - 46,6194}{0,025} * 1000$$

$$ST = 176 \text{ mg/L}$$

# ANEXO V. Informe de resultados del análisis de arsénico



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL  
Campus Politécnico "José Rubén Orellana Rocaute" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio No. 11  
RUC: 176005620001 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: 13 de diciembre de 2023

No. IRI-23-467

### DATOS DEL CLIENTE:

Director proyecto-investigación: Ing. Eduardo Vásquez  
Nombre del testista: Mishel Gallegos  
RUC: -  
Dirección: -  
Teléfono convencional: -  
Teléfono celular: -  
Correo electrónico: -

### DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2023-12-11  
No. Oferta de Servicio: OF23-225  
No. Solicitud de trabajo: ST-23-140  
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación  
Código de la muestra: MI-23-467  
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253  
Fecha de análisis: 12 de diciembre de 2023  
Temperatura de ingreso al laboratorio: 17,3°C

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

Nombre del Proyecto:	-	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2023-11-11	Vidrio	1	Ácido Nítrico (HNO <sub>3</sub> )
Rotulación de la muestra:	-			
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	Tolontag			
Origen de la muestra:	-			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
(c) 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:

- (c) Parámetro no acreditado
- (e) Parámetro medido en campo

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

## MEMORIA TÉCNICA:

# LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE LA JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE TOLONTAG – MARCO

## CALIDAD DE AGUA

MISHEL MORELIA GALLEGOS USHAP

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

2023-2024

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1    Objetivo general .....	2
1.2    Objetivos específicos.....	2
2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	3
3 RESULTADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	3
4 PROPUESTA DE MEJORA.....	4
4.1    Población de diseño .....	4
4.2    Caudal de diseño .....	6
4.3    Cantidad de hipoclorito de sodio .....	6
4.4    Caudal de goteo.....	7
4.5    Tiempo de contacto .....	8
5 CONCLUSIONES.....	8
6 RECOMENDACIONES .....	9
7 BIBLIOGRAFÍA.....	9
8 ANEXOS.....	9

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resultados de análisis de la concentración de cloro .....	4
<b>Tabla 2.</b> Crecimiento Poblacional (GAD PINTAG, 2019) .....	4
<b>Tabla 3.</b> Tasa de crecimiento poblacional de Pintag .....	5
<b>Tabla 4.</b> Población actual y futura de Tolontag – Marco.....	6
<b>Tabla 6.</b> Cantidad de hipoclorito de sodio.....	6
<b>Tabla 7.</b> Concentraciones máximas de la solución clorada .....	7

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curva de crecimiento poblacional .....	5
<b>Figura 2.</b> Hipoclorito de sodio .....	7
<b>Figura 3.</b> Hipoclorador con flotador .....	7
<b>Figura 4.</b> Tanque de contacto .....	8

## **1 INTRODUCCIÓN**

El agua, componente omnipresente en la Tierra, es la base de la vida y un pilar fundamental para la existencia del ser humano. Desde la antigüedad, las culturas han reconocido su importancia simbólica, asociándola con la vida, la energía y la purificación. Su impacto en la salud, el desarrollo social y el medio ambiente es innegable, convirtiéndola en un recurso vital que requiere atención y cuidado. (Gleick, 2018)

El agua también desempeña un papel central en la vida cotidiana y el desarrollo humano. Es indispensable para la agricultura, la producción de alimentos, la generación de energía, la industria, el saneamiento y la higiene personal. (Gleick, 2018)

Tolontag-Marco, comunidad ubicada en la provincia de Pichincha, Ecuador, cuenta con una Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento (JAAPYS) autónoma, gestionada por los propios habitantes. Esta junta se encarga de abastecer de agua potable a la población. El estudio previamente realizado a la calidad del agua arrojó resultados positivos, confirmando que el tratamiento actual se limita a la desinfección con cloro.

Sin embargo, se desea mejorar el tratamiento del agua para garantizar la salud de los habitantes y cumplir con los estándares de calidad establecidos en la normativa ecuatoriana. Es por ello que en este proyecto se propone desarrollar una propuesta de mejora que permita optimizar el proceso actual y brindar a la comunidad un agua aún más segura y confiable.

### **1.1 Objetivo general**

Identificar y mejorar los factores relacionados con la operación del hipoclorador por goteo existente en la Junta de Administración de Agua Potable y Saneamiento de la comunidad Tolontag-Marco, para así asegurar la calidad del agua tratada y el cumplimiento de los estándares de salud pública.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Realizar una evaluación detallada del funcionamiento actual del hipoclorador por goteo en la Junta de Administración de Agua Potable y Saneamiento de la comunidad Tolontag-Marco.
- Identificar los factores que pueden estar afectando la eficacia de la desinfección del agua, incluyendo posibles problemas operativos, de mantenimiento o de infraestructura.

- Desarrollar mejoras que incluyan acciones específicas para optimizar la operación del hipoclorador por goteo, tales como ajustes en los procedimientos operativos, mejoras en la infraestructura, o capacitación del personal.

## **2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN**

Se llevó a cabo una visita técnica con el propósito de recopilar información detallada sobre el sistema de suministro de agua potable en Tolontag, el cual está bajo la responsabilidad de la Junta Administradora de Agua Potable (JAAPYS). Durante la visita, se destacaron los siguientes puntos como los más relevantes:

- **Punto 1 Tanque de captación:** El agua cruda se transporta a través de una tubería de 5 metros de longitud hasta un tanque de almacenamiento. A este tanque se conectan dos mangueras y un tubo de dos pulgadas, el agua que proviene de las mangueras y el tubo se mezclan para formar un flujo uniforme. Este flujo de agua se envía a la planta de tratamiento para su desinfección.
- **Punto 2 Planta de tratamiento, tratamiento preliminar:** El agua cruda que llega al tanque de captación se transporta mediante tuberías de diferentes diámetros durante 2 kilómetros. El agua ingresa a la planta de tratamiento, y es conducida a un tanque de almacenamiento. Desde este tanque, el agua pasa a un sedimentador, donde se eliminan las partículas sólidas en suspensión. Luego, el agua pasa a un filtro de arena, donde se eliminan los contaminantes restantes.
- **Punto 3 Planta de tratamiento, tratamiento de desinfección:** El agua cruda, previamente tratada en el sedimentador y el filtro de arena, alcanza la etapa final del proceso, que consiste en un tanque de contacto destinado a la desinfección. En esta fase, se emplea cloro como agente desinfectante, el cual se añade al agua en forma de hipoclorito de sodio a través de un sistema de goteo constante provisto por un hipoclorador.

## **3 RESULTADOS EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA**

En función a los análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los resultados obtenidos fueron positivos, es decir, la mayoría de los parámetros cumplieron con los estándares de calidad de agua para consumo, según lo estipulado por la normativa ecuatoriana (INEN 1108 y TULSMA). Los parámetros tomados en cuenta fueron: Turbiedad, conductividad, oxígeno disuelto, pH, temperatura, sólidos disueltos y totales, DBO, DQO, alcalinidad, dureza total, fosfatos, nitratos, sulfatos, hierro, manganeso, arsénico, coliformes totales, coliformes fecales y cloro.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis de la concentración de cloro en donde se puede visualizar que dicho parámetro no cumple con la normativa, es por ello que la propuesta de mejora se enfoca en la desinfección del agua.

**Tabla 1.** Resultados de análisis de la concentración de cloro

Parámetro	Unidad	Muestras			TULSMA	INEN 1108	Si cumple/No cumple
		P3	P4	P5			
Cloro Total	mg/L	0,58	-	-	-	-	-
Cloro libre residual	mg/L	0,75	0,57	0,2	-	0,3 - 1,5	No cumple

Se han realizado análisis para mejorar la desinfección del agua potable, ya que el proceso actual presenta deficiencias que generan una baja concentración de cloro. El encargado del hipoclorador ha indicado que se realizan prácticas incorrectas, como la aplicación de hipoclorito de sodio puro sin preparar una solución madre. Además, el goteo no es constante, pues el operador solo lo abre durante su jornada laboral, lo que limita su funcionamiento a menos de 24 horas. Por último, el tiempo de contacto del desinfectante con el agua es nulo, ya que el agua ya está circulando hacia los hogares cuando se añade el hipoclorito. Para solucionar estas deficiencias, se propone implementar medidas que garanticen una correcta dosificación y un tiempo de contacto adecuado del desinfectante con el agua.

#### 4 PROPUESTA DE MEJORA

Con el objetivo de mejorar el proceso de tratamiento actual el cual consiste en desinfectar el agua mediante un hipoclorador por goteo constante y el desinfectante es el hipoclorito de sodio al 5%, fue necesario realizar algunos cálculos, para garantizar que el agua es apta para el consumo en toda la comunidad.

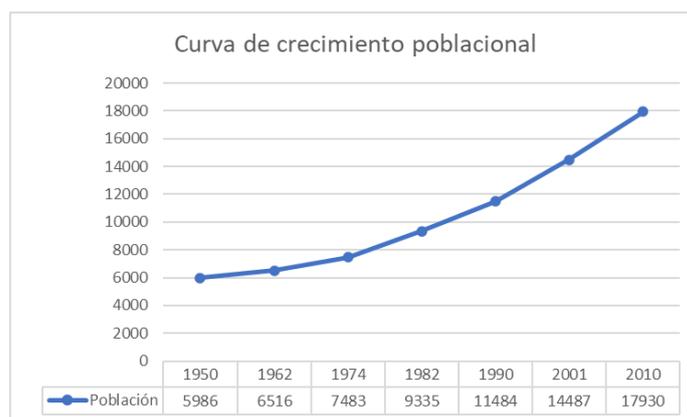
##### 4.1 Población de diseño

Para determinar la población de la comunidad de Tolontag, se realizó un análisis de los datos demográficos de la parroquia de Pintag, a la que pertenece la comunidad. La Tabla 2 del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia presenta la información sobre la evolución de la población en diferentes censos.

**Tabla 2.** Crecimiento Poblacional (GAD PINTAG, 2019)

Población según censos							
Año	1950	1962	1974	1982	1990	2001	2010
Población	5986	6516	7483	9335	11484	14487	17930

Con ayuda de los datos poblacionales de la parroquia de Pintag, a la cual pertenece la comunidad de Tolontag – Marco, se obtuvo la curva de crecimiento poblacional, para así poder elegir el método de cálculo de población. Como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Curva de crecimiento poblacional

La elección del método de cálculo de la población se basó en el análisis de la curva de crecimiento poblacional y su tendencia ascendente. En este contexto, se seleccionó el método geométrico como el más adecuado para calcular la población futura y la tasa de crecimiento poblacional, para ello se usaron los datos de los censos realizados entre 1950 y 2010 se calculó la tasa de crecimiento poblacional promedio a partir de todas las tasas de crecimiento individuales, como se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Tasa de crecimiento poblacional de Pintag

Año	Población	R
1950	5986	0,0185
1962	6516	0,0213
1974	7483	0,0246
1982	9335	0,0236
1990	11484	0,0225
2001	14487	0,0240
2010	17930	
PROMEDIO		0,0224

A partir de la tasa de crecimiento poblacional promedio, se calculó la población actual de la comunidad de Tolontag. Para ello, se consideró un promedio de 3 habitantes por hogar, según datos del número de usuarios del sistema de agua potable de la JAAPYS,

en la Tabla 4 se muestra el número de usuarios de todo el sistema de abastecimiento de agua, y el total de habitantes de la comunidad. Con la tasa de crecimiento promedio obtenida y la población actual de la comunidad se calculó la población futura para el 2055, por el método geométrico.

**Tabla 4.** Población actual y futura de Tolontag – Marco

N° usuarios	1372
Hab/casa	3
Población actual de Tolontag-Marco	4116
Población futura de Tolontag-Marco	8180

#### 4.2 Caudal de diseño

Posteriormente, se calculó el caudal medio, mismo que es el que ingresa actualmente e ingresará para el año 2055 a la planta de tratamiento, para dicho calculo se asumió que la dotación en la zona es de 150 l\*hab/día. En la Tabla 5 se muestran los caudales mencionados.

**Tabla 5.** Caudales de ingreso a la planta de tratamiento

Caudal	2024	2055
Q (l/s)	7,15	14,20

#### 4.3 Cantidad de hipoclorito de sodio

Luego de determinar el caudal, se calculó la cantidad de hipoclorito de sodio necesaria para una semana. La Tabla 6 muestra la cantidad de hipoclorito de sodio requerida para el caudal actual y el caudal futuro.

**Tabla 6.** Cantidad de hipoclorito de sodio

Caudal	Día	Peso de Hipoclorito de sodio (P, g)	Peso de Hipoclorito de sodio (P kg)	Volumen de Hipoclorito de Sodio L
7,2	7	1297,3	1,3	1,2
14,2	7	2576,4	2,6	2,3

Las cantidades de hipoclorito de sodio calculadas son las adecuadas para preparar 500 litros de solución madre. Para ello, se mezclará el hipoclorito con agua hasta completar el volumen total. La solución madre descenderá por una tubería de ½ pulgada hasta un recipiente de 40 litros con un flotador y un grifo. Ajustando el caudal de goteo, se podrá dosificar la solución madre para 7 días, de acuerdo al caudal de ingreso de agua.



**Figura 2.** Hipoclorito de sodio

#### **4.4 Caudal de goteo**

El caudal de goteo se calcula en función del volumen del tanque hipoclorador y el tiempo de recarga. Para este caso, se obtuvo un caudal de 50 mL/minuto. Este caudal se ajusta manualmente en el grifo. Se determinó que el número de gotas por minuto necesarias para una dosificación adecuada es de 200.



**Figura 3.** Hipoclorador con flotador

La concentración de la solución clorada es crucial para la desinfección. Debe mantenerse por debajo de 5000 ppm. La Tabla 7 muestra las concentraciones alcanzadas con diferentes caudales de goteo.

**Tabla 7.** Concentraciones máximas de la solución clorada

Qg (mL/min)	V soluc. Madre (L)	Concentración máxima C1 (mg/L)	Cumple con concentración máxima
40	403	31950	Ok
41	413	31171	Ok
42	423	30429	Ok
43	433	29721	Ok
44	444	29045	Ok
45	454	28400	Ok
46	464	27783	Ok
47	474	27191	Ok
48	484	26625	Ok
49	494	26082	Ok

#### 4.5 Tiempo de contacto

El tiempo de contacto del tanque de reacción fue inferior a 30 minutos para ambos caudales. La bibliografía recomienda un tiempo mínimo de 30 minutos para obtener una desinfección óptima. Por lo tanto, se recomienda aumentar el tiempo de contacto del desinfectante con el agua a un mínimo de 30 minutos.



Figura 4. Tanque de contacto

#### 5 CONCLUSIONES

- La comunidad de Tolontag - Marco goza de un agua de abastecimiento de calidad excepcional. Los resultados obtenidos no solo avalan la seguridad del agua para el consumo humano, sino que también descartan cualquier riesgo

para la salud de la población. En este sentido, el tratamiento necesario se limita a una desinfección final para eliminar posibles microorganismos presentes.

- Deficiencias en la desinfección del agua potable en la comunidad, se llega a esta conclusión debido a que los análisis realizados en las últimas casas evidencian una concentración de cloro inferior a la establecida en la normativa ecuatoriana.
- Las causas principales de esta problemática son: la dosificación inadecuada de hipoclorito de sodio, la cantidad utilizada no es suficiente para garantizar la eliminación de microorganismos patógenos; por otra parte, el goteo inconsistente del hipoclorador, el flujo no es constante, lo que genera una desinfección irregular del agua; finalmente, el tiempo de contacto insuficiente, el agua no permanece el tiempo necesario en contacto con el cloro para asegurar la eliminación de patógenos.

## **6 RECOMENDACIONES**

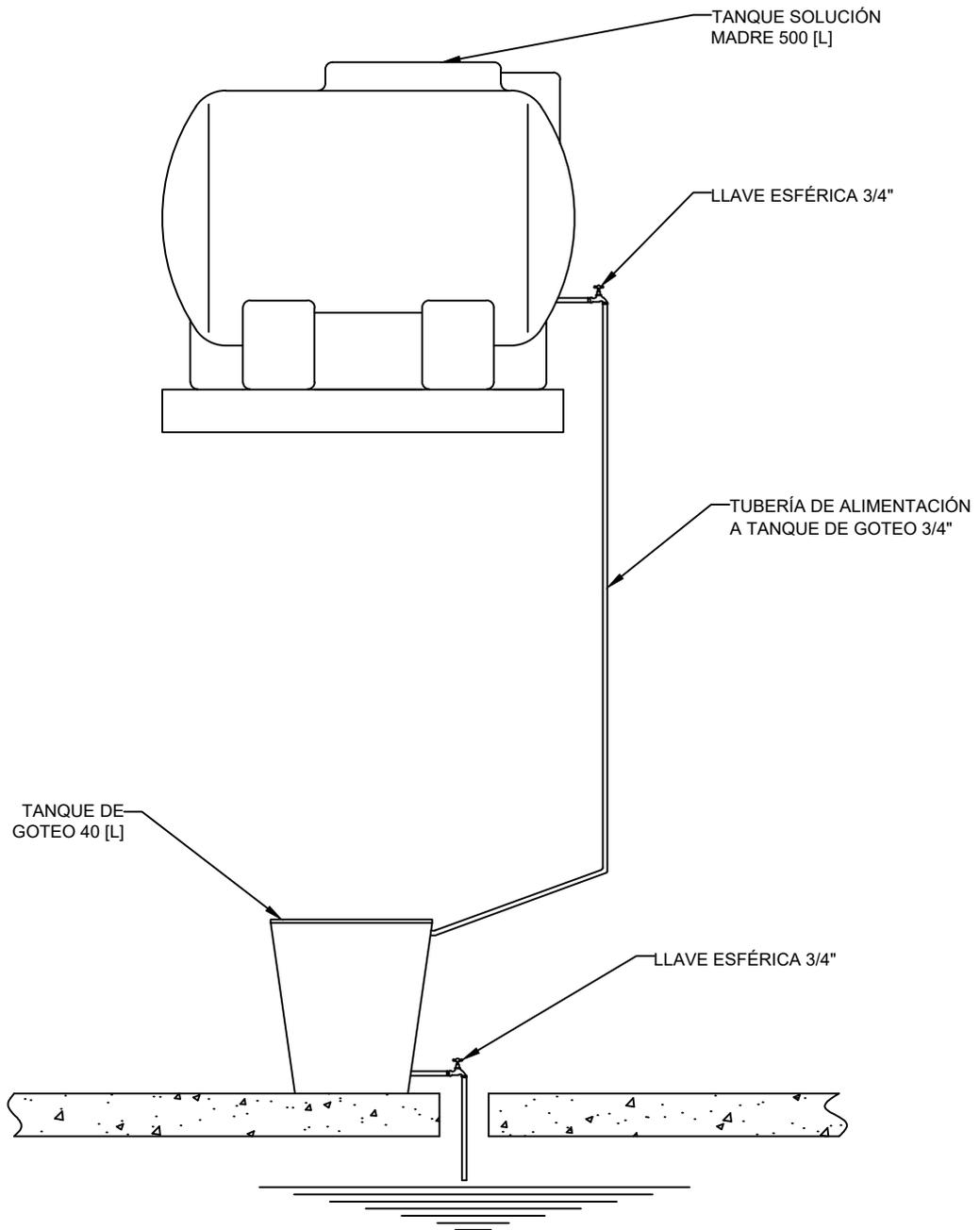
- Se recomienda el monitoreo regular de la calidad del agua para asegurar que se mantenga en niveles óptimos, de esta forma se puede identificar posibles contaminantes en el agua y garantizar que el agua cumple con los estándares de calidad establecidos por la normativa ecuatoriana.
- Implementación de mejoras al tratamiento de desinfección con hipoclorito de sodio, en base a los resultados del estudio y análisis realizados a las concentraciones de cloro, se recomienda implementar la propuesta de mejora al tratamiento de desinfección.
- Se recomienda la adquisición de un equipo para medir la concentración de cloro, la importancia de esto es porque de esta forma se asegura que el tratamiento de desinfección se está realizando de forma efectiva y que la concentración de cloro se encuentra dentro de los rangos establecidos por la normativa ecuatoriana.

## **7 BIBLIOGRAFÍA**

- GAD PINTAG. (2019). *PLAN DE ORDENAMIENTO Y DESARROLLO TERRITORIAL*. Obtenido de Gobierno Descentralizado de la parroquia Pintag: GAD PINTAG
- Gleick, P. (2018). *Water, the vital resource*. *Science*, 362(6415), 727-728.

## **8 ANEXOS**

### **Anexo I: Esquema Hipoclorador por goteo**



Trat Térmico	NA	 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	ESFOT – CARRERA DE AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL	
Recubrimiento	NA		Dib.	Gallegos Mishel
MATERIAL: NA		 JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO UNIDAD TULUMAYO - BAJO	Dis.	Gallegos Mishel
			Rev.	Gallegos Mishel
HIPOCLORADOR			MG-001-ESFOT	