

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA COMUNA CHILIBULO MARCOPAMBA LA RAYA

CALIDAD DE AGUA

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

JOSSELLINE ISABEL TOASA TUTALCHA

DIRECTOR: EDUARDO MAURICIO VÁSQUEZ FALCONES

DMQ, febrero de 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Josseline Isabel Toasa Tatalcha 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.



Josseline Isabel Toasa Tatalcha

josseline.toasa@epn.edu.ec

josselin.isabel.ec@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Josseline Isabel Toasa Tatalcha, bajo mi supervisión.

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.

Josselline Isabel Toasa Tatalcha

DEDICATORIA

A la memoria de la persona que me dio su amor y apoyo incondicional desde mi niñez, mi Abuelita. Sus palabras se repiten en mi mente: “Aprovecha el tiempo y no dejes de estudiar”, Abuelita estarás siempre en mis pensamientos y corazón.

AGRADECIMIENTO

Al apoyo, esfuerzo y cariño infinito de mis padres, quienes me otorgaron las facilidades para poder culminar mi carrera universitaria, agradezco los lazos de amistad que formé mientras cursaba la carrera y estoy muy agradecida con el apoyo, la motivación y el amor que me ha otorgado mi pareja H.G.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos.....	1
Contaminación del agua	2
Calidad del agua	3
Indicadores de calidad de agua.....	3
Parámetros organolépticos	3
Parámetros físicos.....	4
Parámetros químicos	4
Parámetros microbiológicos.....	5
Índice de calidad de agua (ICA).....	6
Potabilización y tratamiento de agua.....	6
Desinfección – Hipoclorador por goteo	7
Normativa	8
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 Información del sistema de abastecimiento	9
2.2 Evaluación de la calidad del agua	9
Parámetros.....	9
Puntos de muestreo	9
Análisis in situ.....	9

Análisis de laboratorio.....	10
ICA de P1 y P2.....	12
2.3 Propuesta de mejora	15
Hipoclorador por goteo con flotador	16
2.4 Socialización del proyecto	18
3 RESULTADOS.....	18
3.1 Levantamiento de información	18
3.2 Determinación de la calidad del agua de la comuna	20
Plan de muestreo (Potenciales puntos de muestreo)	20
Evaluación de los análisis realizados	22
Calidad del agua de la comuna Marcopama La Raya	23
3.3 Propuestas para mejorar la calidad del agua.....	24
Hipoclorador por goteo.....	24
Operación y mantenimiento	28
Tanque sedimentador	29
3.4 Socialización del proyecto	29
4 CONCLUSIONES.....	29
5 RECOMENDACIONES	31
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
7 ANEXOS.....	35
7.1 ANEXO I. Turnitin porcentaje máximo 12%.	35
7.2 ANEXO II. Plan de muestreo	42
7.3 ANEXO III Resultados de análisis CICAM	46
7.4 ANEXO IV. Medición de parámetros in situ de cada vertiente	48
7.5 ANEXO V. Fotografías de vertientes, captación y tanque de almacenamiento..	49
7.6 ANEXO VI. Memoria técnica	51

Índice de tablas

Tabla 1 Indicadores de calidad	3
Tabla 2. Materiales y equipos de campo	9
Tabla 3. Índice de calidad de parámetros de agua	13
Tabla 4. Tabla de ponderaciones para ICA	15
Tabla 5. Criterios de calidad de ICA	15
Tabla 6. Comparación de valores con normativa	22
Tabla 7. Resultados de calidad del agua.....	24
Tabla 8. Concentración de dosis de cloro.....	24
Tabla 9. Método volumétrico (Caudal).....	25
Tabla 10. Resultados del sistema de hipocloración por goteo.....	27

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Índice de la Calidad del Agua	6
Ecuación 2. Contenido de sólidos.....	12
Ecuación 3. Presión de Barométrica.....	14
Ecuación 4. Concentración de oxígeno disuelto de saturación.....	14
Ecuación 5. Cálculo de caudal de ingreso.....	16
Ecuación 6. Concentración - Tiempo.....	17
Ecuación 7. Tiempo de contacto.....	17
Ecuación 8. Cálculo de volumen del tanque.....	17
Ecuación 9. Cálculo de volumen de tanque actual y tiempo de contacto.....	17
Ecuación 10. Volumen de agua de ingreso	18
Ecuación 11. Cálculo de peso de hipoclorito de calcio 70%.....	18
Ecuación 12. Fórmula de volumen de solución madre.....	18
Ecuación 13. Caudal de goteo	18

Índice de figuras

Figura 1. Partes del hipoclorador de goteo de carga constante (doble recipiente).....	8
Figura 2. Rejilla del punto de Captación	19
Figura 3. Ubicación de la Captación y Tanque de almacenamiento	20
Figura 4. Vertientes de la Captación.....	20
Figura 5. Vertiente 4 (Ashniture)	21
Figura 6. Tanque de almacenamiento.....	21
Figura 7. Esquema de hipoclorador por goteo sin tanque dosificador.....	27

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como finalidad establecer la calidad del agua de las vertientes Chupazuro 1 y 2, Luriyaku y Ashinituro de la Comuna Chilibulo – Marcopamba – La Raya, la cual se encuentra en la zona suroeste de Quito en las parroquias urbanas Chilibulo y La Mena.

Para la determinación de la calidad del recurso hídrico de la comuna se seleccionaron dos puntos de muestreo: Captación (P1) y Tanque de almacenamiento (P2), en los cuales se midieron características in situ y se recolectaron muestras para análisis de laboratorio. Los parámetros que se midieron en campo fueron los siguientes: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez, mientras que en laboratorio se realizaron análisis de: coliformes fecales y totales, DQO, DBO₅, fosfatos, hierro, manganeso, nitritos, nitratos, amonio, sulfatos y contenido de sólidos.

Los resultados obtenidos fueron comparados con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), Libro VI Anexo 1, Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano, doméstico, agua para riego y uso pecuario, con lo cual se determinó que los parámetros analizados cumplían con los criterios de la normativa. Además, se determinó el Índice de Calidad del Agua que permitió verificar el estado en el que encuentra el recurso hídrico en los sitios seleccionados para el muestreo, dando como resultado que el agua durante todo su recorrido, desde la captación hasta llegar al tanque de almacenamiento, está en condiciones aceptables, pero para que el agua cruda pueda ser potable necesita al menos un proceso de desinfección.

Las propuestas para mejorar la calidad del recurso hídrico de la Comuna son: la implementación de un hipoclorador por goteo con flotador, que es una tecnología que permite suministrar pequeñas dosis de solución clorada al caudal que ingresa al tanque de almacenamiento, el mantenimiento y operación del sistema de abastecimiento y la colocación de un tanque sedimentador.

Se elaboró con base en los resultados obtenidos una memoria técnica que va a ser entregada a la comunidad para que ellos puedan analizar e implementar el proyecto.

PALABRAS CLAVE: calidad de agua, medición in situ, análisis de laboratorio, Normativa, ICA, desinfección, hipoclorador.

ABSTRACT

The purpose of this titling project is to establish the water quality of the Chupazuro 1 and 2, Luriyaku and Ashinituro springs of the Chilibulo - Marcopamba - La Raya Commune, which is in the southwestern area of Quito in the urban parishes of Chilibulo and La Mena.

To determine the quality of water resources in the commune, two sampling points were selected: Catchment (P1) and storage tank (P2), where on-site characteristics were measured, and samples were collected for laboratory analysis. The parameters measured in the field were: temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen, and turbidity, while laboratory analyses were carried out for: fecal and total coliforms, COD, BOD5, phosphates, iron, manganese, nitrites, nitrates, ammonium, sulfates, and solids content.

The results were compared with the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULSMA, which determined that the parameters analyzed met the criteria of the regulation. In addition, the Water Quality Index was determined, which verified the status of the water resource in the sites selected for sampling, with the result that the water is in acceptable condition throughout its journey from the catchment to the storage tank, but for the raw water to be potable it needs at least one disinfection process.

The proposals to improve the quality of the Comuna's water resources are the implementation of a drip hypochlorinator with float, which is a technology that allows supplying small doses of chlorinated solution to the flow entering the storage tank; the maintenance and operation of the supply system; and the installation of a sedimentation tank.

Based on the results, a technical report was made and will be delivered to the community so that they can analyze and implement the project.

KEYWORDS: water quality, in situ measurement, laboratory analysis, regulations, ICA, disinfection, hypochlorinator.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Las fuentes de agua superficial y subterráneas permiten el abastecimiento a la población, pero estas pueden llegar a contaminarse de manera natural (ej. material particulado) y antrópica (ej. por descargas de aguas residuales) [1].

En el proyecto Desarrollo de una propuesta de mejoras al sistema de tratamiento de agua para la Comuna Chilibulo Marcopamba La Raya se pretende plantear soluciones con base a la calidad del recurso hídrico de la comuna, proponiendo así medidas que garanticen a largo plazo, el buen estado de este. Para tal propósito se valorará la calidad del agua de la comuna Chilibulo Marcopamba La Raya mediante el análisis de valores de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de manera in situ y en laboratorio; los análisis de laboratorio serán realizados en el laboratorio de tecnología y en el CICAM. Posteriormente, y con base en los resultados obtenidos se analizará el ICA y se realizará el prediseño de un sistema de tratamiento básico de desinfección. Además, se podrá proponer un sistema de desinfección adecuado para producir agua potable que garantice un buen estilo de vida a las personas de la comunidad y además cumpla con la normativa nacional vigente, la INEN 1108:2020.

Actualmente, la comuna Chilibulo Marcopamba La Raya capta el agua de cuatro vertientes: Chupazuro 1, Chupazuro 2, Luriyaku y Ashnituro, este recurso no ha tenido un análisis en cuanto a sus características físicas, químicas y microbiológicas; y no cuenta con un sistema de tratamiento que mejore su calidad después de ser captado, de tal forma que las personas reciben agua cruda para consumo, riego de cultivos y ganadería.

En cuanto a la Normativa de Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, riego agrícola y uso pecuario del TULSMA, establece los límites máximos permisibles que todo recurso hídrico debe cumplir para usos como: consumo humano, agrícola, recreativo, etc.

1.1 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de mejoras al sistema de tratamiento de agua para la Comuna Chilibulo Marcopamba La Raya.

1.2 Objetivos específicos

1. Levantar información base del proyecto.
2. Evaluar y determinar el Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) mediante el análisis de características físicas, químicos y microbiológicas.

3. Proponer un sistema de tratamiento adecuado con base en la calidad del agua.
4. Socializar el proyecto con la comunidad.

1.3 Alcance

Se realizará visitas técnicas a las fuentes de agua para la selección de los lugares en los cuales se realizará el muestreo.

Se determinarán parámetros in situ de calidad del agua, tomando muestras de agua, en dos puntos, mediante el multiparámetro U52 y turbidímetro portátil 2100Q, de los cuales se obtendrá valores correspondientes a temperatura, pH, turbidez, etc.

Se realizarán los análisis de laboratorio para determinar parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los valores obtenidos tanto de las mediciones in situ como de los análisis de laboratorio se compararán con los rangos permitidos por la normativa vigente, así también se obtendrá el índice de calidad del agua (ICA-NSF).

De esta manera se propondrá mejoras al sistema de tratamiento actual, de tal forma que mejore la calidad del agua que la comuna recibe.

1.4 Marco teórico

Contaminación del agua

Según [2], el agua conocida como “disolvente universal” es vulnerable a la contaminación, ya que las sustancias que entran en contacto con el agua se disuelven fácilmente y se mezclan provocando así la contaminación de este recurso. La contaminación puede producirse por sustancias químicas o microorganismos que degradan la calidad del agua haciendo que esta se vuelva toxica para el ambiente y que no pueda ser utilizada para el consumo humano.

Categorías de contaminación del agua

Aguas Subterráneas

Las fuentes subterráneas pueden contaminarse debido a la presencia de pesticidas, fertilizantes, residuos lixiviados de los vertederos y de los sistemas sépticos que llegan a acuíferos, convirtiendo la fuente de agua en una fuente insegura para el uso humano. Deshacerse de los contaminantes puede llegar a ser difícil, costoso e incluso pueden filtrarse en los arroyos, lagos y océanos provocando su contaminación [2].

Agua Superficial

De acuerdo con [2], la contaminación por nutrientes se presenta como la principal en estas fuentes superficiales, dentro de los nutrientes que más se pueden encontrar en las fuentes están los nitritos y fosfatos.

Calidad del agua

Se define como las propiedades químicas, físicas, biológicas o microbiológicas que hacen que el agua sea apta para diversos usos como: consumo humano, riego agrícola, actividades ganaderas e industriales o para mantener en pie las funciones de los ecosistemas. Por lo general, la calidad de este elemento vital se determina mediante la comparación de características de una muestra de agua con una línea base, esta puede ser: concentraciones registradas de los elementos en el curso de agua; o estándares y normas establecidas para cada uso [3].

Indicadores de calidad de agua

El agua tiene características diferentes de acuerdo con el sitio y tratamiento previo que se le proporcione, estas características pueden medirse y clasificarse en organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas [4]. En la siguiente tabla, se identifica algunos de los parámetros que sirven de indicadores de la calidad del agua.

Tabla 1 Indicadores de calidad

Parámetros	Descripción
Organolépticos	Color, olor y sabor
Físicos	Temperatura, conductividad (sales), sólidos solubles e insolubles y turbiedad o turbidez
Químicos	pH, DBO, DQO, OD, nitritos, fosfatos, dureza, sulfatos
Microbiológicos	Bacterias y/o microorganismos que causen alteraciones a la salud.

Fuente: [4]

Parámetros organolépticos

Color

Es una percepción óptica causada por la presencia de moléculas orgánicas complejas originadas de materia vegetal (húmica) y su efecto puede aumentar debido a materia en suspensión. El color aparente es aquel que presenta el agua natural con materia en suspensión, mientras que color real o verdadero es aquel que resulta únicamente de sustancias disueltas luego de haber sido filtrada [5]. La determinación de esta característica se la hace mediante la valoración fotométrica de la muestra coloreada [6].

Olor y sabor

Según [7], estas características están relacionadas fisiológicamente a los sentidos del gusto y olfato y son la principal razón por la que el consumidor rechazaría el recurso hídrico. La presencia de estas propiedades en el agua puede deberse a gases, sales, compuestos inorgánicos y compuestos relacionados a actividades vitales de organismos acuáticos.

Parámetros físicos

Temperatura (°C)

Esta característica tiene un grado de influencia en la solubilidad de los gases, absorción de oxígeno, disolución de sales, entre otras [8]. El cambio en la temperatura puede dar efecto a impactos importantes en los ecosistemas, en la vida acuática y cambios en los ciclos de vida de bacterias [3].

Conductividad

Es una medida que representa el paso de corriente eléctrica en el agua, la conductividad aumenta cuando también aumentan las concentraciones de iones en la muestra de agua [9]. Cuando la solución tiene compuestos inorgánicos como sales y metales su conductividad es elevada mientras que en presencia de materia orgánica la conductividad es baja [3].

Turbiedad

Este parámetro se origina cuando en la muestra de agua existe la presencia de partículas en suspensión o coloidal (arena, limos y otros organismos microscópicos), la turbiedad reduce la transparencia del agua. Para la remoción de esta característica del agua se debe considerar el tipo de partícula existente, tamaño y comportamiento [8].

Sólidos totales disueltos (SDT)

Los sólidos totales disueltos representan el conjunto de minerales, metales y sales que se encuentren disueltos en el agua. Los sólidos disueltos totales se miden en partes de sólidos por un millón de partes de agua (ppm) [10].

Dentro de los sólidos que se pueden encontrar en el agua se tiene: disueltos o en suspensión, estos dos pueden ser diferenciados mediante el proceso de filtración ya que los sólidos en suspensión son los que quedan retenidos después de haber realizado la filtración a la muestra y los sólidos disueltos son aquellos que quedan en la muestra luego de haber sido filtrada [9].

Parámetros químicos

Potencial Hidrógeno (pH)

El pH es el indicador de la concentración de hidrogeniones en el agua, en otras palabras, esta propiedad indica si la muestra es alcalina, ácida o neutra. Este parámetro puede influir en procesos relacionados a la coagulación química, purificación, ablandamiento del agua y control de corrosión [11].

Oxígeno disuelto (OD)

Proporciona la cantidad de oxígeno gaseoso que se encuentra en el agua. La manera con la cual las fuentes de agua tienen OD es a través de la aireación y la fotosíntesis de las algas [11].

Si la fuente de agua presenta una alta concentración de oxígeno disuelto significa que la fuente se encuentra en buena calidad, mientras que una baja concentración de oxígeno disuelto indica la presencia de alta carga orgánica [9].

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Este parámetro representa la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica biodegradable, en un periodo de 5 días a 20°C. Si la muestra contiene una alta cantidad de materia orgánica se necesitará igualmente una alta cantidad de oxígeno para que los microorganismos puedan degradarla [12]. La DBO en aguas residuales y superficiales permite tener una idea del grado de contaminación que poseen [13].

Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO mide las sustancias orgánicas: biodegradables y no biodegradables presentes en el agua. Es una prueba que utiliza productos químicos oxidantes fuertes (dicromato de potasio), ácido sulfúrico y calor; el resultado de este análisis puede estar disponible en sólo 2 horas [9]. En otras palabras, la DQO representa la cantidad de O₂ que consume la materia orgánica y que puede ser oxidada utilizando agentes químicos [12].

Parámetros microbiológicos

Estos indicadores son útiles para determinar la calidad de la fuente superficial estableciendo la presencia o ausencia de organismos vivos. Por lo que algunos de estos pueden utilizarse como indicadores de la existencia de contaminantes en el recurso hídrico ya que actúan de manera equivalente a los microorganismos patógenos [9]. Generalmente los indicadores microbiológicos pertenecen a la flora saprófita intestinal, coliformes y

estreptococos fecales; varias de estas provienen de animales siendo resistentes a los tratamientos a los que se le someta al agua [14].

Los microorganismos de referencia de polución fecal son las del grupo coliforme, siendo su principal representante las bacterias denominadas *Escherichia coli*; estas han sido escogidas ya que se localizan en los excrementos de ganado vacuno, ovino, etc.; así como en las heces de los seres humano, además de ser fáciles de detectar y cuantificar [15].

Índice de calidad de agua (ICA)

Es un mecanismo que permite definir el estado de calidad de una fuente superficial o subterránea. Este índice abarca características fisicoquímicas y microbiológicas; y se calcula mediante la siguiente fórmula matemática [16].

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Ecuación 1. Índice de la Calidad del Agua

En donde:

I_i representa el Índice de calidad de cada característica

W_i representa la importancia que se le da a cada característica

n representa la cantidad de características que se van a analizar

Es importante mencionar que la fuente de agua que se encuentre muy contaminada poseerá un ICA próximo o equivalente a 0% por este motivo requerirá tratamientos convencionales y especiales, mientras que la fuente de agua en excelentes condiciones tendrá un ICA de 100% y requerirá tratamientos sólo de desinfección [1].

Potabilización y tratamiento de agua

Técnicas de potabilización

El estudio de [17], menciona que los sistemas de potabilización se encargan de llevar el recurso hídrico en condiciones óptimas para el consumo humano. Esto se hace posible a través de la utilización de tratamientos que remueven contaminantes, dentro de estos sistemas se puede mencionar dos: convencionales y técnicas alternativas de potabilización.

Sistema convencional

Esta obra se diseña y construye bajo principios ingenieriles con el fin de abastecer con servicio de agua potable a la población, se lo realiza a nivel comunitario o de vivienda. El

sistema se diseña basándose en un análisis de trazabilidad y de características del lugar o lugares en los que se pueda implementar. En otras palabras, este sistema cuenta con un espacio de tratamiento y distribución de agua tratada y cada vivienda utiliza este recurso mediante redes de tubería domiciliaria.

Sistemas alternativos de abastecimiento de agua potable

Son sistemas no convencionales que permiten la potabilización del agua de tal forma que sea apta para el consumo. Este tipo de alternativas son factibles de implementar en zonas rurales, en las cuales el acceso al agua potable es difícil. Este tipo de sistema abarca métodos naturales hasta tecnologías no tan convencionales, como por ejemplo el abastecimiento de agua mediante lluvia.

Tratamiento de agua

El tipo de tratamiento al que debe someterse el agua cruda varía ya que las condiciones del agua oscilan grandemente de una vertiente a otra. Ya que no existe una fórmula con la que se pueda determinar el tipo de planta que se requiere para tratar el agua es inevitable que se efectúen análisis de tratabilidad. Es decir, el método de tratamiento dependerá básicamente de las características del agua cruda [18].

Desinfección – Hipoclorador por goteo

La desinfección es la operación dentro del sistema de tratamiento que asegura la inocuidad del agua potable. Es decir, elimina organismos perjudiciales presentes en la fuente de agua, previamente a que esta sea distribuida a la población [19].

Según [20], establece que es obligatorio que los sistemas de potabilización desinfecten el recurso hídrico. Para determinar la dosis de desinfectante y el dimensionamiento de los componentes que son parte del sistema de desinfección se emplea el método concentración-tiempo: $C * tc = K$, donde C representa la concentración cloro, tc es el tiempo de contacto y K es una constante que varía con el valor de pH y T (°C) del agua. Para la selección de K se toma en cuenta la eficiencia de los tratamientos previos que se le da al agua establecidos en la Norma mencionada.

De acuerdo con [21], para la selección del dosificador será importante conocer el tipo de hipoclorito que se va a utilizar, pero los principales dosificadores que se emplean en la zona rural para desinfectar el agua se tienen los siguientes:

- a) Sistema dosificador por goteo o flujo constante
- b) Hipoclorador por difusión automática

Hipoclorador por goteo constante

Este trabajo se centrará en el hipoclorador por goteo que es un sistema sencillo de carga constante, utiliza hipoclorito de calcio o sodio y mediante la caída constante de gotas de la solución clorada se garantiza la desinfección del agua [22].

Esta tecnología tiene accesorios de PVC, generalmente cuenta con un tanque de volumen promedio a 600L para el almacenamiento del solución clorada (agua con hipoclorito de calcio al 70%). El dosificador posee un volumen de 40L, en el cual se instala un flotador conectado a una manguera que se alimenta de la solución clorada, este flotador evita los reboses al igual que el flotador de un inodoro. Para regular de mejor forma el flujo de goteo es recomendable instalar un grifo y un micro grifo, este deberá estar calibrado con las cantidades de goteo por minuto [23] finalmente este caudal de goteo cae sobre el agua del tanque de almacenamiento.



Figura 1. Partes del hipoclorador de goteo de carga constante (doble recipiente)

Fuente: [24]

Normativa

Con base en [20], las Normas que se presentan establecen los reglamentos a seguir sobre calidad de agua para consumo humano, agua para riego agrícola y uso pecuario; estas tienen un impacto a nivel nacional:

- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), Libro VI de Calidad Ambiental.
- NTE INEN 1108, indica los criterios para considerar al agua apta para su consumo.
- NTE INEN 2169, establece las técnicas de preservación y transporte de los frascos con agua muestreados.

2 METODOLOGÍA

2.1 Información del sistema de abastecimiento

La Comuna Chilibulo-Marcopamba-La Raya se localiza en la ciudad de Quito, al suroeste del D.M. de Quito, en la zona de protección ecológica de las parroquias urbanas Chilibulo y La Mena.

Para el levantamiento de información, se realizó 3 visitas técnicas. La primera visita sirvió para el reconocimiento del área, en la cual se identificó el camino que conduce a las fuentes de abastecimiento, las vertientes y el estado en el que se encuentran, las estructuras del sistema de abastecimiento, los terrenos a los cuales se les proporciona el suministro de agua, los inconvenientes que tiene la comuna con respecto a este recurso y se determinó posibles puntos de muestreo, este recorrido fue dirigido por uno de los comuneros. La segunda visita fue para establecer los lugares de muestreo y la tercera para recolectar las muestras.

2.2 Evaluación de la calidad del agua

Parámetros

Para la valoración de la calidad del agua que la comuna recibe, se realizó el Plan de Muestreo que se encuentra en el Anexo II, con el cual se determinó los parámetros de medición in situ y los analizados en laboratorio los cuales fueron seleccionados basándose en la Norma TULSMA en la cual se definen los requerimientos específicos que debe cumplir el recurso hídrico para sus diferentes usos.

Puntos de muestreo

Con la segunda visita técnica se estableció la ubicación y puntos de muestreo. Para lo cual se tuvo en cuenta la accesibilidad y seguridad de los dos puntos seleccionados. Los sitios que se establecieron para el muestreo se encuentran en el Plan de Muestreo (Anexo II) que se desarrolló para este proyecto.

Análisis in situ

Estos análisis se determinaron en campo, en los dos puntos establecidos del Plan de Muestreo (Anexo II), para este proceso se utilizaron los materiales y equipos que se muestran a continuación:

Tabla 2. Materiales y equipos de campo

Materiales y equipos	Fotografía	Parámetros
Multiparámetro U52		Oxígeno disuelto (mg/l), Conductividad (mS/cm), Potencial Hidrógeno (pH), Temperatura (°C), Sólidos disueltos totales (g/l)
Turbidímetro portátil 2100Q		Turbiedad (NTU)
GPS MAP64S		Coordenadas georeferenciadas
Jarra		Volumen de agua

Para la determinación de estos análisis se encendieron los dos equipos, el Multiparámetro U52 y el Turbidímetro portátil 2100Q. Para trabajar con el Multiparámetro U52, primero se tomó en la jarra agua de uno de los puntos de muestreo. Se sumergió la sonda del multiparámetro en la jarra con agua y se esperó algunos segundos hasta que estabilizaran los valores medidos por el equipo, es importante señalar que antes de realizar la medición se lavó el recipiente con agua del mismo punto y la sonda con agua destilada para poder ser utilizada en la medición del siguiente lugar.

Para trabajar con el Turbidímetro portátil 2100Q primero se tuvo que calibrar este equipo con tres estándares de diferente medida, después de calibrar el equipo se tomó una muestra de agua con la jarra y esta fue colocada en una celda de vidrio para introducirla al turbidímetro y poder leer el valor de turbiedad. Al terminar con la medición la celda de vidrio se limpió con agua desionizada y secó procurando no tocarla con los dedos ya que podía influir en el resultado de la siguiente medición que se iba a realizar.

Análisis de laboratorio

Para los análisis de laboratorio se realizó una tercera visita técnica, con base en el Plan de Muestreo de este proyecto (ver Anexo II) en el cual se estableció los dos puntos estratégicos para la caracterización. El muestreo siguió las directrices planteadas en el Plan y en la Norma INEN 2169 en la que menciona los métodos y cuidados generales al realizar la toma de muestras dependiendo del tipo de análisis que se desea realizar, así como su conservación y transporte. En laboratorio se realizaron los siguientes ensayos:

- Hierro
- Manganeseo
- Nitritos
- Nitratos
- Amonio
- Fosfatos
- Sulfatos
- DQO
- DBO₅
- Contenido de sólidos
- Coliformes fecales
- Coliformes totales

Análisis de características químicas

Los parámetros de Fe, Mn, NO₂⁻, NO₃⁻, N-amoniacal, SO₄²⁻ y PO₄³⁻ fueron analizados por espectrofotometría utilizando el espectrofotómetro HACH DR 1900. El procedimiento, paso a paso, para la obtención de los valores de cada ensayo se basó en el Manual de Análisis de Agua Hach [25], en el cual se especifica el volumen de muestra, el volumen del blanco, los reactivos que se deben utilizar, el tiempo que reacción y el número del programa que corresponde a la medición de cada parámetro.

Para la determinación de DQO se usó el digester y posteriormente el espectrofotómetro, además de tres viales de digestión de DQO, Hach. Al primer tubo, denominado blanco, se le adicionó 2 mL de agua destilada y a los dos restantes 2 mL de muestra, uno para cada punto de muestreo (P1, P2), se agitaron los tubos y se eliminaron los vapores generados en el interior, este paso se lo realizó tres veces. Luego, los tubos se dejaron en el digester durante 2 horas y posterior a esto se los dejó enfriar por aproximadamente 30 minutos.

Finalmente, fueron llevados al espectrofotómetro para ser leídos, para este procedimiento primero se seleccionó el programa que correspondía a la medición del parámetro de DQO, a continuación, se enceró con el tubo que contenía el blanco y se leyó los dos tubos restantes.

El parámetro de DBO₅ fue analizado en el laboratorio acreditado CICAM, para lo cual se les proporcionó 2 litros de agua por cada punto de muestreo.

Análisis de características físicas

En cuanto a la determinación del contenido de sólidos totales y suspendidos se utilizó 50 y 100 mL de muestra. Dentro de los materiales y equipos utilizados están: crisoles, dos lunas reloj, dos filtros, dos probetas de 100 mL, pinzas metálicas de laboratorio, matraz Kitasato, bomba de vacío y una balanza de laboratorio. El día anterior al desarrollo del análisis se introdujeron los crisoles y las lunas reloj con el filtro en la estufa a una temperatura de 105 °C. Al siguiente día, se sacaron de la estufa y se llevaron al desecador por alrededor de 30 minutos para que se enfriaran los materiales y se pudieran pesar los crisoles y los filtros colocados en las lunas reloj.

Para los sólidos totales, se midió en las probetas 50 mL de agua de cada punto muestreado, estas se colocaron en los crisoles y se llevaron nuevamente a la estufa a 105°C. En cuanto a los sólidos suspendidos se filtró 100 mL de las muestras de agua utilizando la bomba de vacío y el matraz Kitasato y al igual que los crisoles, estos dos filtros fueron llevados sobre lunas reloj a la estufa a la misma temperatura. Al día siguiente, ya terminado el proceso de evaporación tanto de los crisoles como de los filtros, se llevaron al desecador y después de 30 minutos se registraron sus pesos.

Con todos los pesos registrados se realizó los cálculos para encontrar los valores de sólidos totales, suspendidos y disueltos en las muestras.

$$ST\left(\frac{mg}{L}\right) = SS + SD$$

Ecuación 2. Contenido de sólidos

Análisis de características microbiológicas

El estudio de coliformes fecales y coliformes totales requirió de 100 mL de agua de cada sitio de muestreo y ese volumen fue entregado al laboratorio acreditado CICAM.

ICA de P1 y P2

Para el procesamiento de datos del indicador de calidad de cada parámetro, fue necesario el valor de los resultados de los análisis de campo y de laboratorio, en la siguiente tabla se muestran las ecuaciones utilizadas para la obtención de cada índice.

Tabla 3. Índice de calidad de parámetros de agua

Nº	Parámetro	Ecuación	Rango
1	Coliformes fecales	$I_{CF} = 97.5[5(CF)]^{-0.27}$	Si el valor de coliformes fecales es 0 NMP/100mL se establece un ICA=100
2	Coliformes totales	$I_{CT} = 97.5(CT)^{-0.27}$	Para valores de 0 NMP/100mL se asigna un ICA=100
3	Potencial hidrógeno	$I_{pH} = 10^{0.2335pH+0.44}$ $I_{pH} = 100$ $I_{pH} = 10^{4.22-0.293pH}$	Para un pH por debajo de 6.7 Para un pH que este entre 6.7 y 7.3 Para un pH pasado de 7.3
4	DBO ₅	$I_{DBO} = 120(DBO)^{-0.673}$	Para valores pequeños o iguales a 1.311 mg/L se fija un ICA= 100
5	Nitratos	$I_{NO_3} = 1662.2(NO_3)^{-0.343}$	Para valores pequeños a 4.097 mg/L se fija un ICA= 100
6	Nitrógeno amoniacal	$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343}$	Para valores por debajo de 0.11 mg/L se fija un ICA=100
7	Fosfatos	$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46}$	Para valores por debajo o iguales a 0.0971 mg/L se fija un ICA= 100
8	Turbidez	$I_T = 108(T)^{-0.178}$	Para valores por debajo a 1.54 JTU se establece un ICA= 100 (1NTU=0.053JTU)
9	Oxígeno disuelto	$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} * 100$	OD (mg/L) a T (°C) de campo. OD sat = OD de saturación (mg/L)
10	Sólidos disueltos	$I_{SD} = 109.1 - 0.0175(SD)$	Para valores por debajo de 520 mg/L se asigna un ICA de 100 Para valores por encima de 6234 mg/L se asigna un ICA=0
11	Sólidos suspendidos	$I_{SS} = 266.5(SS)^{-0.37}$	Para valores por debajo de 14.144 mg/L se asigna un ICA=100
12	Conductividad	$I_{CE} = 540(CE)^{-0.379}$	Para valores por debajo de 85.60 µS/cm se asigna un ICA= 100

Fuente: [26]

Para la determinación de Oxígeno Disuelto Saturado (OD_{Sat}), se necesitó datos de altura de los puntos seleccionados para el muestreo, temperaturas del H₂O en grados

Centígrados y la temperatura ambiente en grados Kelvin (Anexo II). Primero se realizó la corrección de la concentración de oxígeno disuelto (O.D mg/L), utilizando una tabla de Solubilidad de oxígeno en agua pura en equilibrio con aire saturado con vapor de agua a 760 mm de presión [27]. Dado que la tabla utilizada no contenía la medición de temperatura del agua se procedió a interpolar utilizando la ecuación de la recta dado dos puntos para poder obtener el valor de concentración saturada (C_s mg/L).

Como segundo paso, se procedió a realizar la corrección de presión (P_h en mm Hg) utilizando la fórmula barométrica en la cual existe variación de presión atmosférica con la altura, es importante señalar que se deben realizar conversión de unidades para obtener en mm Hg, la ecuación se muestra a continuación:

$$P(h) = P_o e^{-\frac{\mu * g * h}{RT}} = mm\ Hg$$

Ecuación 3. Presión de Barométrica

Fuente: [28]

En donde:

P_o es la presión a 760 mm Hg.

μ es la masa molecular del aire en Kg/mol.

g es la gravedad (9.8 m/s²).

h es la altura en metros a la cual queremos tener el valor de presión.

R es la constante de los gases ideales en Nm /mol K.

T es la temperatura ambiente en grados Kelvin.

Luego, se calculó la presión de vapor (P_v en mm Hg) con la temperatura del agua con la ecuación de Antoine. Finalmente, se sacó la condición de saturación con los valores obtenidos de los cálculos anteriores, con la siguiente ecuación:

$$[C_s] = \frac{mg}{L} = C_s * \frac{P_h - P_v}{P_o - P_v} ; P_o = 760\ mmHg$$

Ecuación 4. Concentración de oxígeno disuelto de saturación

Todo el procedimiento se lo volvió a realizar para el punto de muestreo faltante.

Los coeficientes de ponderación para cada parámetro se obtuvieron de Semarnat, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, los cuales se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla 4. Tabla de ponderaciones para ICA

Característica	Coef. (W _i)	Característica	Coef. (W _i)
DBO	5	Nitrógenos en nitratos	2
OD	5	Potencial de Hidrogeno	1
Fosfatos totales	2	Solidos disueltos	0.5
Coliforme fecales	4	Turbidez	0.5
Coliformes totales	3	Nitrógeno amoniacal	2
Conductividad	2	Sólidos suspendidos	1

Fuente: [29]

Finalmente, para la evaluación del Índice de Calidad del Agua Global se usó la Ecuación 1, reemplazando las variables por los datos obtenidos en este proyecto. Con el resultado final se pudo dar un criterio del estado en el que se encuentra la fuente de agua, el cual se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios de calidad de ICA

Criterios	Limites	
Excelente	91-100	
Buena	71-90	
Mediana	51-70	
Mala	26-50	
Muy mala	0-25	

Fuente: [30]

2.3 Propuesta de mejora

Las propuestas para mejorar las condiciones del recurso hídrico se realizarán con base en los resultados obtenidos de los análisis, el ICA y de las estructuras que posee el sistema de abastecimiento de la Comuna Chilibulo Marcopamba La Raya.

En el reconocimiento del lugar mediante las visitas técnicas, se identificó que en el punto de captación hay un proceso de pretratamiento, el de separación de sólidos gruesos, además se visualizó que una parte de la tubería por la que se conduce el agua de la captación posee una rotura que deja expuesta las condiciones del recurso hídrico al salir del proceso de remoción de sólidos. Por otro lado, el tanque de almacenamiento se

encuentra en condiciones aceptables en cuanto a su estructura, no presenta grietas o daños que puedan afectar el almacenamiento del agua en ese lugar.

Además, con base en los parámetros del ICA, se tiene que los valores obtenidos de los dos sitios de muestreo indican que la condición del agua de la comuna se encuentra en buen estado pero que requiere un proceso de desinfección.

Por lo mencionado al inicio de este apartado y dado que en la Normativa de diseño de sistemas de agua potable para el EMAAP-Q, se menciona que es obligatorio la desinfección de la fuente de agua independientemente de su calidad y de los tratamientos que se realicen previamente a este recursos para su potabilización [20], se plantea la siguiente propuesta, con el fin de dar cumplimiento a lo citado por la normativa, implementar un sistema de desinfección con base en el hipoclorador por goteo.

Hipoclorador por goteo con flotador

Para el desarrollo de este sistema se tomó en cuenta algunos criterios:

- Caudal de entrada estará entre valores de 0.3L/s – 8 L/s.
- Tiempo de contacto de al menos 30 minutos ya que la eficiencia de este sistema baja con tiempos menores.
- La concentración de la solución clorada (C_1) no sobrepasará los 5000 mg/l
- Como se menciona en la norma INEN 1108, el cloro residual debe estar en un rango de 0.3 a 1.5 mg/L.
- Según [23], se tiene un periodo máximo de recarga de 15 días.

Caudal

Para el diseño de esta tecnología primero se determinó el caudal que llega al tanque de almacenamiento, así como las dimensiones de este. En la segunda visita técnica se realizó mediciones de caudal en el reservorio usando el método volumétrico, se utilizó una jarra graduada en unidades de mL y un cronómetro, se tomaron tres datos y se calculó el caudal de cada medición. De los tres resultados obtenidos se sacó la media, para la obtención del caudal se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V(L)}{T(s)}$$

Ecuación 5. Cálculo de caudal de ingreso

Dosis de desinfectante

Como menciona las [20], para la cálculo de la cantidad de cloro se establecen tres tablas (6.2,6.3 y 6.4) que varían de acuerdo con el pH y temperatura de la fuente de agua. Para determinar el tiempo de contacto idónea se empleó la siguiente formula:

$$C * t_c = K$$

Ecuación 6. Concentración - Tiempo

Despejando la variable solicitada de la ecuación anterior se tiene lo siguiente:

$$t_c(\text{min}) = \frac{K}{C}$$

Ecuación 7. Tiempo de contacto

Volumen de tanque de contacto

Para la determinación del volumen necesario del tanque de contacto, la formula a utilizar fue la siguiente:

$$V_c = Q \left(\frac{m^3}{\text{min}} \right) * t_c(\text{min})$$

Ecuación 8. Cálculo de volumen del tanque

Volumen de tanque de almacenamiento del proyecto

Para la determinación de este volumen, fue necesario contar con las dimensiones actuales del tanque de almacenamiento para posteriormente comparar este valor con el valor obtenido en V_c y conocer si tenía el volumen adecuado para el proceso, además se calculó el tiempo actual de contacto del agua que llega allí.

$$V_T(m^3) = L * A * H \qquad t_c = \frac{V_T}{Q}$$

Ecuación 9. Cálculo de volumen de tanque actual y tiempo de contacto

Volumen de agua de ingreso al tanque

Para obtener este valor se utilizó el caudal que ingresa al tanque de almacenamiento y el tiempo de recarga del reservorio (tanque de almacenamiento) de solución clorada, que para este caso de estudio se tomó como 15 días, que es el tiempo máximo establecido en los criterios de diseño, la fórmula a utilizar fue la siguiente:

$$V_{H_2O}(L) = Q \left(\frac{L}{s} \right) * tr(s)$$

Peso de hipoclorito de calcio 70%

Para conocer el peso del hipoclorito de calcio son necesarios los valores de volumen de agua que ingresa al tanque(L) y la concentración de cloro(mg/L).

$$P_{CaClO_2}(g) = \frac{V_{H_2O} * C}{10 * \%de\ cloro}$$

Ecuación 11. Cálculo de peso de hipoclorito de calcio 70%

Volumen mínimo de agua para disolución

Para la determinación de este dato se necesita el peso de hipoclorito de calcio en gramos y la concentración máxima de la solución clorada, que para este caso de estudio se optó por el valor de 5000 mg/L, esta concentración no puede sobrepasar este valor ya que puede provocar obstrucciones en la manguera por cristalización del cloro, en especial en aquellos lugares que tienen bajas temperaturas.

$$V_{min} = \frac{10 * P_{CaClO_2} * (\%Cloro)}{C_1}$$

Ecuación 12. Fórmula de volumen de solución madre

Caudal de goteo

De acuerdo con [23], este sistema posee dos cámaras o tanques, uno de ellos es de 600L el cual contendrá la solución madre que desembocará a la segunda cámara de 40L que tiene como función controlar el caudal de goteo, hallado con la siguiente ecuación:

$$Qg = \frac{V_{tc}}{t_r} \left(\frac{mL}{min} \right)$$

Ecuación 13. Caudal de goteo

2.4 Socialización del proyecto

Para la socialización del proyecto se elaboró una memoria técnica con los resultados del proyecto, las propuestas de mejora para el sistema de abastecimiento, conclusiones y recomendaciones para darle a conocer a la Comuna el estado de la calidad del agua y las mejoras que se plantean del sistema actual (ANEXO V).

3 RESULTADOS

3.1 Levantamiento de información

El sistema de abastecimiento se encuentra constituido por la captación de las vertientes Chupazuro 1, Chupazuro 2 y Luriyaku, como proceso de pretratamiento se visualizó una rejilla que reduce el ingreso de sólidos gruesos (hojas de árboles secas, ramas, etc.) a la tubería, pero a esta rejilla no se le da un mantenimiento adecuado, los sólidos que quedan retenidos deben permanecer allí hasta que alguno de los comuneros se encuentre cerca de este punto y pueda retirarlos. Cuando el agua pasa la rejilla, esta es transportada por tuberías.



Figura 2. Rejilla del punto de Captación

A unos 20 metros más adelante de la captación se une la vertiente Ashnituro a la línea de conducción y en conjunto con las tres vertientes antes mencionadas se desplazan hasta el tanque rompe presión y luego hacia el tanque de almacenamiento.

En el trayecto por el que va la tubería que conduce este recurso hídrico se pudo observar que a la salida de la captación la tubería presenta un orificio que deja expuesta el agua, durante el recorrido para llegar a los tanques la tubería cruza de manera transversal el camino por donde suben y bajan personas, ganado y camiones dejando a plena vista una parte de la tubería.

Los tanques a los que llega el agua están ubicados en una zona alta por donde no hay mucha circulación de ganado ni de automóviles. Estas estructuras no cuentan con un mantenimiento frecuente por lo que algunas de ellas se observaban deterioradas, sin embargo, el tanque de almacenamiento es el que más conversado se veía ya que en el lugar donde está ubicado hay personas dedicadas a la agricultura y son ellas las que están al pendiente de este tanque. Finalmente, el agua que llega al tanque de almacenamiento se distribuye a 172 comuneros.

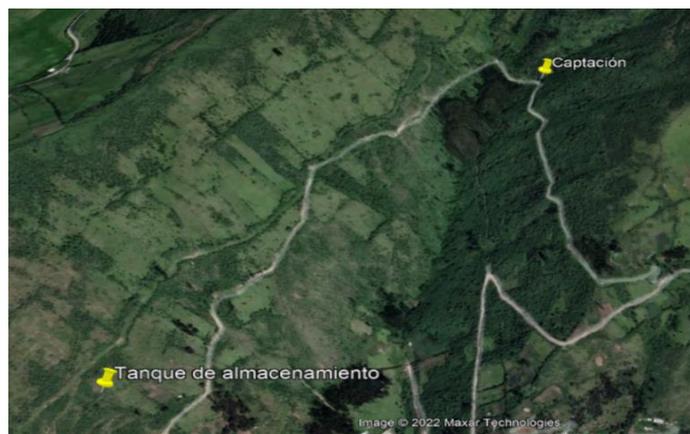


Figura 3. Ubicación de la Captación y Tanque de almacenamiento

3.2 Determinación de la calidad del agua de la comuna

Plan de muestreo (Potenciales puntos de muestreo)

P1. Captación

La captación está ubicada a 3279 msnm, en esta zona se unen tres vertientes, la vertiente Chupazuro 2 (V1), que es una fuente subterránea, se encuentra protegida por una estructura rectangular de hormigón y en el interior de esta, se pudo observar la existencia de material orgánico flotando en su superficie. Para unirse a las otras dos vertientes recorre un canal de 40 cm.

La segunda vertiente, Luriyalu (V2), no cuenta con protección alguna, en su recorrido arrastra materiales de árboles y matorrales de su alrededor. Por último, la tercera vertiente, Chupazuro 2 (V3), sale de una tubería de 2.5" de diámetro, y esta cae sobre V2.



Figura 4. Vertientes de la Captación

V4. Ashnituro

La vertiente Ashnituro está ubicada a 3277 msnm, al igual que la vertiente Chupazuro 2 (V3), esta fuente se encuentra sin protección alguna y por el trayecto por el que se mueve se pudo observar que las rocas por las que el agua pasa poseen un color marrón. El caudal de esta vertiente es pequeño a comparación de las otras mencionadas anteriormente.



Figura 5. Vertiente 4 (Ashnituro)

P2. Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento está ubicado a 3220 msnm, en este lugar las cuatro vertientes ya se encuentran unidas. Este tanque se encuentra en condiciones aceptables en cuanto a su estructura, tiene unas dimensiones de 2.80m tanto de largo como de ancho y 1.70m de profundidad, además posee una tapa de metal que protege el agua que se encuentra en su interior. Sin embargo, al revisar la parte interna se observa que las paredes de esta estructura tienen una pequeña cantidad de moho a la altura de la línea de agua.



Figura 6. Tanque de almacenamiento

De acuerdo con el Plan de Muestreo del proyecto (Anexo II) se establecieron dos puntos de muestreo, los cuales fueron seleccionados luego de realizar el recorrido para el levantamiento de información. Los puntos definitivos para la toma de las muestras fueron:

- P1. Captación
- P2. Tanque de almacenamiento

Evaluación de los análisis realizados

Los resultados conseguidos de los análisis ejecutados tanto en campo como en laboratorio corresponden finalmente a dos puntos de muestro: Captación (P1) y Tanque de almacenamiento (P2), estos valores se compararon con la normativa TULSMA, Criterios de calidad para recursos hídricos de consumo humano, riego agrícola y uso pecuario dado que durante las visitas técnicas al sistema de abastecimiento la comuna solicitó la factibilidad de usar las vertientes para acciones relacionadas a la agricultura y ganadería. Actualmente la concesión de agua de las vertientes es para el consumo de las personas, pero con base en los valores obtenidos de los análisis realizados la comuna va a plantear utilizar el caudal de las vertientes para actividades agrícolas y pecuarios debido a que un sector de la comunidad ha solicitado la instalación de agua potable del Municipio.

Tabla 6. Comparación de valores con normativa

	Parámetro	Unidad	P1	P2	Límite máximo permisible (TULSMA)		
					Consumo humano	Riego agrícola	Uso pecuario
Campo	Temperatura	°C	12.27	12.17	-	-	-
	pH	pH	6.00	5.62	6-9	6-9	-
	Conductividad	µS/cm	99	89	-	-	-
	OD	mg/L	5.06	5.60	-	3	-
	OD saturado calculado	mg/L	7.28	7.35	-	-	-
	Turbidez	NTU	3.89	2.97	100	5	-
Laboratorio	Coliformes fecales	NMP/100mL	1.1	1.1	1000	1000	1000
	Coliformes totales	NMP/100mL	1.1	2.2	-	-	-
	DQO	mg/L	17	6	<4	-	-

DBO5	mg/L	<2	<2	<2	-	-
Fosfatos	mg/L	0.37	0.09	-	-	-
Hierro	mg/L	0.17	0.13	1	5	-
Manganeso	mg/L	0.039	0.092	-	0.2	-
Nitritos	mg/L	0.007	0.010	0.2	0.5	0.2
Nitratos	mg/L	1.8	0.7	50	5-30	50
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.12	0.10	-	-	-
Sulfatos	mg/L	15	16	500	250	-
ST	mg/L	146	140	-	-	-
SS	mg/L	43	27	-	-	-
SD	mg/L	103	113	-	-	3000

El pH obtenido en campo del punto P2 muestra que el valor de este parámetro se encuentra fuera el rango aceptable de la Normativa. La variación del pH podría hacer que el agua disuelva iones de metales como hierro, manganeso e incluso podría causar daño a la tubería por la que se transporta.

Por otra parte, los resultados de DQO en los dos sitios de muestreo, sobrepasan el rango permitido por la normativa, lo que indica la presencia de materia orgánica biodegradable y no biodegradable que puede ser susceptible a una oxidación química. Los puntos de muestreo pueden convertirse en foco de contaminación del recurso hídrico sino se realiza algún tratamiento fisicoquímico para reducir la DQO

Con la revisión de los valores obtenidos con los de la normativa se tiene que los resultados del proyecto se encuentran dentro de los rangos aceptables y que no representan ningún peligro para la irrigación de cultivos como para la ganadería en los abrevaderos de animales.

Calidad del agua de la comuna Marcopama La Raya

Se muestran los resultados conseguidos de los análisis en los dos puntos que se seleccionaron para el muestreo. Con la finalidad de definir el ICA total se utilizaron 12 parámetros, para el cálculo de cada uno de los índices se utilizaron las fórmulas de la Tabla 3 y para obtener el índice total se utilizó la Ecuación 1.

Tabla 7. Resultados de calidad del agua

I_i P _i	I_{pH}	I_T	I_{SS}	I_{SD}	I_{CE}	I_{NO_3}	I_{NH_3}	I_{PO_4}	I_{OD}	I_{DBO}	I_{CT}	I_{CF}	ICA total
P1	69.34	84.80	66.27	100	100	100	94.78	54.06	69.53	100	95.02	61.53	82.79
P2	56.53	100	78.72	100	98.53	100	100	100	76.2	100	78.80	61.53	85.95

Los valores de ICA total de la Tabla 7 exponen los índices de calidad en los que se encuentra el agua en los puntos muestreados. Se puede determinar que el recorrido que hace el agua desde el punto de la captación hasta el reservorio entra en el rango de 71-90 establecido en la Tabla 5 (replicada nuevamente en este apartado), lo cual indica que este recurso hídrico se encuentra en buena calidad, pero como no se lo puede consumir en el estado en el que se encuentra (agua cruda) se debe realizar la potabilización.

Crterios	Límites	
Excelente	91-100	
Buena	71-90	
Mediana	51-70	
Mala	26-50	
Muy mala	0-25	

Fuente: [30]

3.3 Propuestas para mejorar la calidad del agua

Hipoclorador por goteo

Concentración de desinfectante

La determinación de la cantidad de cloro a dosificar para este caso de estudio se determinó utilizando la tabla 6.4 de la Norma de la EMAAP-Q., para lo cual se limitó los rangos de concentración de cloro de 0.4 mg/L a 1.4 mg/L debido al criterio señalado por la norma INEN 1108 que menciona que el cloro debe estar dentro del rango 0.3 a 1.5 mg/L.

Tabla 8. Concentración de dosis de cloro

Valores de K en mg min/L para plantas con remoción menor del 90% de coli total		
15°C		
C dosis de cloro mg/L	pH 6	Tiempo de contacto en minutos
0.4	33	82.5

0.6	33	55
0.8	35	43.75
1	35	35
1.2	36	30
1.4	38	26.43

Fuente: [20]

Por lo tanto, el tiempo de contacto recomendado será de aproximadamente una hora, este valor fue calculó con la Ecuación 7:

$$t_c(\text{min}) = 55 \text{ minutos} \approx 1 \text{ hora}$$

Volumen de tanque de contacto necesario

Para el cálculo del volumen de tanque se determinó el caudal por el método volumétrico.

Tabla 9. Método volumétrico (Caudal)

Tiempo (s)	Volumen (ml)	Q (ml/s)	Q (L/s)	Q(m3/min)
1.13	1000	884.955	0.92	0.06
1.32	1300	984.848		
1.13	1020	902.654		

Utilizando la Ecuación 8, se obtuvo que el volumen es:

$$V_c = 3.05 \text{ m}^3$$

Sabiendo que el volumen de contacto necesario para tener una desinfección no menor de 90% es de 3.05 m³, es necesario comparar este resultado con los valores actuales del tanque de almacenamiento y su tiempo de contacto, a partir de la Ecuación 9 se tiene que:

Tanque actual de almacenamiento

$$t_c = \frac{(2.80 * 2.80 * 1.70) \text{m}^3}{\frac{(0.06) \text{m}^3}{\text{min}}}$$

$$t_c = 240.36 \text{ min} \approx 4 \text{ horas}$$

Al comparar el valor de volumen actual del reservorio con el volumen que en realidad se necesita se puede notar que no se garantiza una correcta desinfección del agua, al ser este de mayor tamaño al que se requiere para aplicar la dosis de cloro señalada en la Tabla 8 y su tiempo de contacto también aumenta.

Volumen de agua que ingresa en 15 días

$$V_{H_2O}(L) = \left(\frac{0.92L}{s} * 1296000s \right)$$

$$V_{H_2O}(L) = 1197702.33L$$

Peso de hipoclorito de calcio

Conociendo el volumen de agua podemos calcular el peso de hipoclorito de calcio, en gramos, que requiere la desinfección. Teniendo en cuenta que se va a utilizar hipoclorito de calcio al 70% resulta:

$$P_{CaClO_2}(g) = \frac{\left(0.6 \frac{mg}{L} \right) (1197702.33L)}{(10)(70)}$$

$$P_{CaClO_2}(g) = 1026.6g$$

Es decir que se debe pesar 1026.6 gramos de CaClO₂ y mezclar con un volumen de agua mínimo para obtener la solución clorada.

Volumen de mínimo de H₂O para disolución:

$$V_{min} = \frac{(70)(10)(1026.6g)}{\frac{5000mg}{L}}$$

$$V_{min} = 143.72L$$

Caudal por goteo para regular el equipo correspondiente a 15 días:

$$Qg = \frac{(143.72L) * 1000}{21600min}$$

$$Qg = 6.65 \frac{mL}{min}$$

Dado que en un mililitro podemos encontrar 15 gotas, tenemos que en un minuto se deben disipar alrededor de 99 gotas.

Los resultados obtenidos de los cálculos para la propuesta del hipoclorador por goteo de carga constante se realizaron con base a las mediciones de temperatura, pH, caudal y dimensiones del tanque de almacenamiento determinados en campo. Estableciendo un tiempo de recarga de la tecnología de cloración de 15 días, tenemos los resultados detallados en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados del sistema de hipocloración por goteo

Sistema de abastecimiento de agua de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya								
Temperatura (°C):			12.17		pH:		5.62	
Q (L/s)	Tiempo contacto (min)	V. mínimo de agua para disolución (L)	P. hipoclorito de calcio (g)	Recomendación		Caudal de goteo (mL/min)	Gotas (got/min)	Tiempo de recarga (días)
				V. de tanque almacenar Sol. madre (L)	V. tanque dosificador de Sol. Madre (L)			
0.92	55	143.72	1026.6	600	40	6.65	99.81	15

A continuación, se muestra un esquema del sistema planteado:

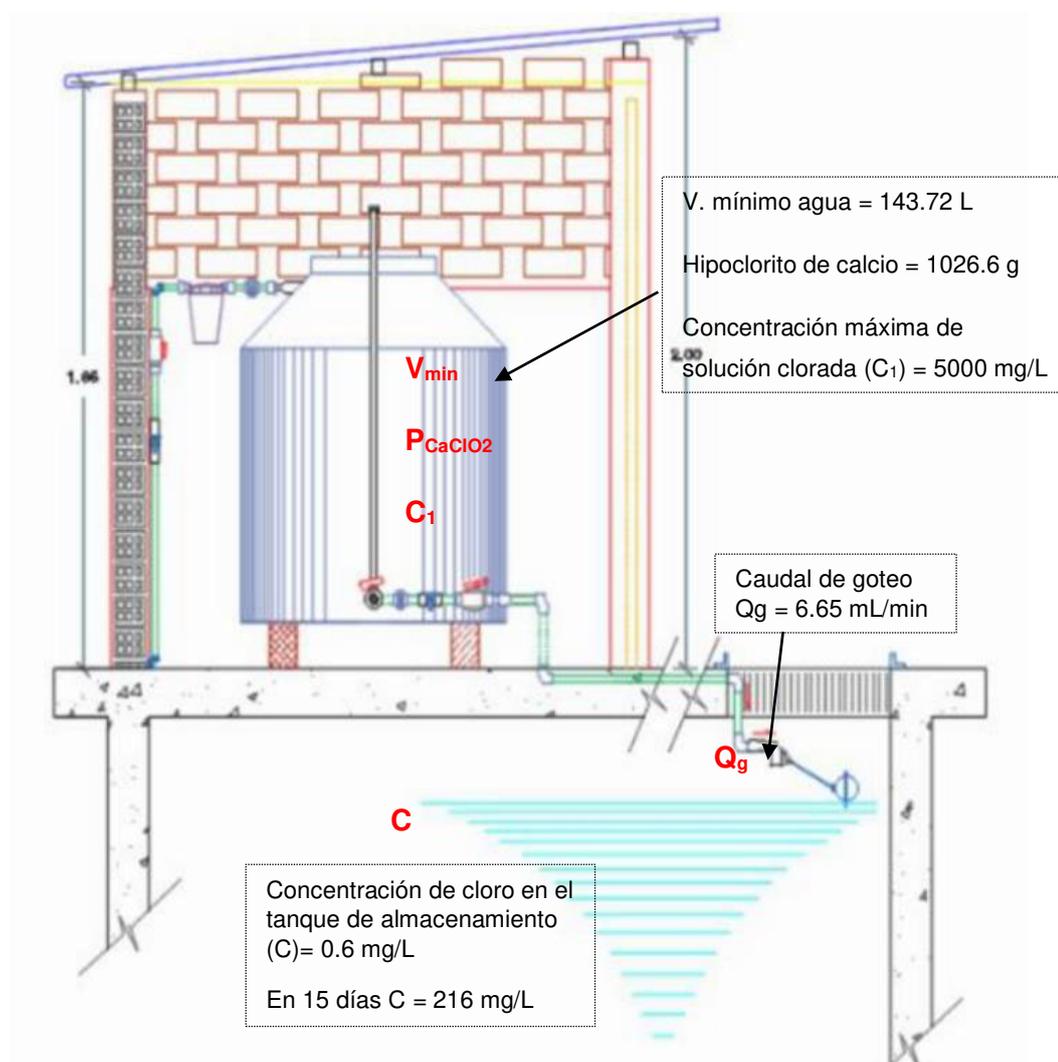


Figura 7. Esquema de hipoclorador por goteo sin tanque dosificador

Fuente: [23]

Operación y mantenimiento

Con base en el documento de Limpieza de las unidades del sistema de agua potable [31], se propone poner en marcha acciones de limpieza y asepsia a los dispositivos del sistema de abastecimiento. Con estas acciones se puede garantizar que el agua llegue a cada uno de los comuneros en condiciones de calidad, libre de bacterias y microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades.

Actividades previas a la limpieza y desinfección

- a) La persona encargada de llevar a cabo las actividades de mantenimiento del sistema (operador) debe coordinar con el presidente de la comuna la limpieza y desinfección.
- b) La junta comunal debe efectuar las siguientes acciones: fijación de fecha para la realización de la limpieza y desinfección, y proporcionar personas que puedan ayudar al operador en las actividades mencionadas.
- c) Informar a todos los usuarios hasta dos días antes de las acciones que se van a llevar a cabo en el sistema de abastecimiento.
- d) Los usuarios deben recolectar la suficiente cantidad de agua antes de que este recurso sea cortado para las actividades de limpieza.

Captación

- a) Limpiar la parte externa de la captación y área circundante.
- b) Retirar el material que se encuentre acumulado en la rejilla.
- c) Verificar el estado de funcionamiento de la rejilla.

Tanque de almacenamiento

- a) Limpiar la parte externa del tanque de almacenamiento y área circundante.
- b) Sacar el agua del tanque de almacenamiento con el fin de que se pueda realizar una limpieza interna.
- c) Limpiar con ayuda de una escoba o cepillo las paredes del tanque y los accesorios que se encuentren dentro de él.
- d) Retirar los sedimentos que puedan encontrarse en el reservorio.
- e) Enjuagar con abundante agua la estructura interna del tanque de almacenamiento.
- f) Llenar el reservorio de agua y luego verter una solución clorada que para este caso de estudio será 0.58 g de hipoclorito de calcio en 20 L de agua. Dejar esta mezcla en el tanque por 4 horas.

Redes de distribución

- a) Utilizar el agua que quedo en el tanque de almacenamiento para desinfectar las líneas de distribución de agua.
- b) En los sitios bajos de las redes de distribución se deben abrir las válvulas de purga para que salga toda el agua que haya quedado retenida.

Tanque sedimentador

Colocar un tanque sedimentador en el sitio de la captación, en el cual se acumulen los sólidos en especial los sedimentables. Este tanque sedimentador ayudaría en aquellas épocas de lluvia en las cuales el grado de turbiedad de las vertientes aumenta debido al arrastre de materia gruesa como: ramas, hojas, etc; y de solidos sedimentables que llegan a la zona de captación. Dado que las vertientes son de diferente tipo (subterráneas y superficiales) podrían contaminarse entre sí debido al arrastre de sólidos y por ello se propone la implementación de un tanque sedimentador.

3.4 Socialización del proyecto

La manera de socializar los resultados del proyecto fue a través de una memoria técnica (ANEXO V) con el siguiente contenido:

- Calidad del recurso hídrico de la comuna.
- Propuestas de mejoramiento para la calidad del agua.
- Resumen del sistema de hipocloración por goteo.
- Criterios de diseño y resultados para la implementación del hipoclorador por goteo.

4 CONCLUSIONES

Se evidenció que el sistema de abastecimiento de la Comuna Chilibulo- Marcopamba-La Raya no tiene un adecuado sistema de tratamiento con respecto a su recurso de agua y únicamente realiza un pretratamiento de separación de sólidos, a pesar de que el agua es utilizada por algunos comuneros únicamente para riego se debe procurar realizar una depuración que le permita contar con las condiciones aceptables para el consumo del ser humano.

Se comparó los resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con la normativa vigente del Ecuador, TULSMA, la cual establece las pautas de calidad de los recursos hídricos para consumo humano y doméstico, de lo cual se obtuvo que los valores de las características analizadas se encuentran por debajo de los permisibles y que este recurso que es captado, almacenado y distribuido no ha de producir efectos en la salud de las personas pertenecientes a la comuna, sin embargo se debe tener cuidado con los valores relacionados a DQO y pH para que estos puedan estar dentro del rango aceptable de la Normativa TULSMA.

Los valores de DQO sobrepasan los límites máximos permisibles debido a la presencia de materia orgánica oxidable que produce contaminación en los puntos de muestreo seleccionados, estos resultados se pueden relacionar con las actividades humanas que se realizan cerca o sobre estas fuentes y con la propia carga contaminante del agua que adquiere de manera natural tras el recorrido que realiza hasta llegar al punto de captación.

Las fuentes de agua de la comuna se encuentran en buenas condiciones para ser utilizadas además del consumo humano con la respectiva desinfección, en actividades relacionadas a la agricultura y ganadería; dado que los comuneros poseen terrenos en los cuales cultivan y llevan a sus animales a pastar este recurso hídrico no les perjudicaría para poder utilizarlo en esas actividades.

De la determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) por medio de análisis de parámetros físicos y químicos, se tiene que el agua se encuentra en el rango de 71-90 de acuerdo con el Criterio de Calidad, es decir que el recurso hídrico de la comuna posee características aceptables para su uso. Para alcanzar los límites de las normas se puede implementar un proceso de tratamiento adecuado que permita garantizar la calidad de la fuente de agua para que sea apta para el consumo humano.

Dado que la comuna no tiene un sistema de tratamiento de agua y que de acuerdo con las Norma de la EMAAP-Q es obligatorio contar con la desinfección de este recurso independientemente de su calidad, se propuso la implementación de un hipoclorador por goteo que tratará el caudal de ingreso (0.92 L/s) al tanque, mediante la adición de hipoclorito de calcio el cual se encargará de eliminar los organismos que se localicen en el recurso hídrico y para ello es necesario contar con un tanque que permita un tiempo de contacto de 55 minutos, es decir desde que se aplica la dosis de 0.6 mg/L de desinfectante hasta que se consume el agua, en este caso el volumen del tanque necesario es de 3.05 m³.

5 RECOMENDACIONES

Al realizar el recorrido para la identificación de las fuentes de abastecimiento, la captación y tanque de almacenamiento se observa que la rejilla que detiene sólidos debe ser reemplazada con otra ya que se encuentra en un evidente estado de oxidación. Además, es importante solucionar el problema de la tubería que sale de la captación ya que posee un orificio que deja a intemperie el agua que pasa luego del pretratamiento.

Es importante realizar operaciones de mantenimiento en zona de la captación y en el reservorio ya que en ambos lugares hay evidencia de materia orgánica, en la captación se observa hojas de árboles, ramas y moscas pequeñas y, por otra parte, el tubo que llega al tanque de almacenamiento se evidenciaba con presencia de moho, así como las paredes del tanque. Estas actividades deben ser realizadas por personas que conozcan del tema por seguridad.

En cuanto a la propuesta de mejoramiento de la calidad del agua, es recomendable poner mucha atención en la cantidad de hipoclorito de calcio que se va a emplear para el tiempo de recarga que considere la comunidad, ya que al tener una concentración muy alta de ese compuesto puede causar obstrucción en las tuberías. También es importante considerar el tiempo de contacto de la solución clorada ya que a menor tiempo baja la eficiencia de esta.

La cantidad de cloro debe determinarse como mínimo semestralmente, debido a que las condiciones de las fuentes de abastecimiento pueden tener variaciones en sus características físicas, químicas o microbiológicas. Esto puede realizarse, por ejemplo, durante la estación de lluvias y de estiaje.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Torres, C. Hernán Cruz y P. J. Patiño, Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano, Medellín: Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 2009.
- [2] M. Denchak, «NRDC,» 14 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.nrdc.org/stories/water-pollution-everything-you-need-know#whatis>.
- [3] C. Herrera, P. Pacheco Mollinedo, M. E. Orihuela, M. L. Piñeiros y E. Cobo, Guía de monitoreo participativo de la calidad del agua, Quito: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), 2018.
- [4] A. M. Caminati Briceño y R. C. Caqui Febre, Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la Universidad de Piura, Piura: Universidad de Piura, 2013.
- [5] M. Martínez y A. Osorio, Validación de un método para el análisis de color real en agua, Medellín: Revista de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, 2018.
- [6] W. A. Lozano-Rivas, Calidad fisicoquímica del agua.: Métodos simplificados para su muestreo y análisis, Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2013.
- [7] R. Marín Galvín, «Olor-Sabor,» de *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas*, Córdoba, Ediciones Díaz de Santos, 2019, pp. 13-14.
- [8] A. Barrenechea Martel y L. Vargas, Aspectos físico-químicos de la calidad del agua, Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS) , 2004.
- [9] N. Hassan Omer, Water Quality Parameters - Science, Assessments and Policy, IntechOpen, 2019.
- [10] A. Singler y J. Bauder, Educación en el Agua de Pozo, Alcalinidad, pH y sólidos disueltos totales, Montana: Northern Plains & Mountains, 2014.
- [11] P. Barreto Sáenz, Protocolo de monitoreo de agua, Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2010.
- [12] J. A. Romero Rojas, Calidad del Agua, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009.
- [13] E. Raffo Lecca y E. Ruiz Lizama, Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno, Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014.
- [14] S. Ríos Tobón, R. M. Agudelo Cadavid y L. A. Gutiérrez Builes, Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano, Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 2017.

- [15] M. d. Salud, Manual práctico de análisis de agua, Brasilia: Fundación Nacional de Salud (FUNASA), 2013.
- [16] C. A. Caho Rodríguez y E. A. López Barrera, Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI, Producción + Limpia, 2017.
- [17] Á. M. Betancur Flórez y S. A. Upegui Sosa, Comparación de técnicas alternativas de potabilización de agua, y su posible aplicación en el área rural del territorio nacional colombiano, Cuaderno Activa, Revista científica de la Facultad de Ingeniería.
- [18] J. A. Romero Rojas, Potabilización del agua, México, D.F.: Alfaomega Grupo, 1999.
- [19] N. Frustramente, Manual para la Cloración del Agua en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable en el Ámbito Rural, Programa PROAGUA, Lima: Gráfica Esbelia Quijano S.R.L., 2017.
- [20] EMAAPQ, Normas de diseño de sistemas de agua potable para la EMAAP-Q, Quito: V&M Gráfica, 2008.
- [21] USAID, Manual de operación y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad, Honduras : RILMAC Impresores, S. de R.L. de C.V., 2016.
- [22] R. Muñoz Mendoza, Eficiencia del sistema de cloración por goteo para el mejoramiento de la calidad del agua de consumo humano del caserío Cauchamayo-Celendín, Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2019.
- [23] Proyecto SABA Plus, Memoria Descriptiva-Instalación del hipoclorador por goteo con flotador, Lima: Imprenta Publiser S.R.L, 2018.
- [24] Proyecto SABA, Memoria Descriptiva-Instalación de hipoclorador por goteo con flotador, Lima-Perú: Imprenta Publiser S.R.L, 2018.
- [25] Hach Company, Manual de análisis de agua, Colorado: Hach Company, 2000.
- [26] A. G. Peñafiel Romero, Evaluación de la Calidad del Agua del Río Tomebamba Mediante el Índice ICA del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2014.
- [27] C. Maidana, «DOCPLAYER,» 2016. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/135770-Folleto-informativo-oxigeno-disuelto-od.html>. [Último acceso: 17 Febrero 2022].
- [28] Hyperphysics, «Hyperphysics,» 2010. [En línea]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/barfor.html>. [Último acceso: 17 Febrero 2022].
- [29] SEMARNAT, «Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales,» 2013. [En línea]. Available: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html.

- [30] SNET, Índice de calidad del agua general "ICA", El Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2010.
- [31] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Limpieza y desinfección de los componentes del sistema de agua potable, desinfección del agua medición de cloro residual,» Programa Nacional de Saneamiento Rural.
- [32] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.
- [33] Ministerio del Ambiente del Ecuador, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Quito: Ministerio del Ambiente, 2015.
- [34] INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización, Agua para consumo humano. Requisitos, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2020.
- [35] INEN, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras, Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013.

7 ANEXOS

7.1 ANEXO I. Turnitin porcentaje máximo 12%.

Tesis Calidad de agua Toasa Tatalcha Josselline Isabel

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	idoc.pub Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1%
3	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	red.uao.edu.co Fuente de Internet	<1%
9	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%

10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo. "Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño", Water Intelligence Online, 2017 Publicación	<1 %
12	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
13	ninive.ismm.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
14	1library.co Fuente de Internet	<1 %
15	bdigital.dgse.uaa.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
16	www.ordenjuridico.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
17	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
18	docslide.us Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

10	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Carlos M. López Vázquez, Germán Buitrón Méndez, Héctor A. García, Francisco J. Cervantes Carrillo. "Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño", Water Intelligence Online, 2017 Publicación	<1 %
12	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
13	ninive.ismm.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
14	1library.co Fuente de Internet	<1 %
15	bdigital.dgse.uaa.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
16	www.ordenjuridico.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
17	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
18	docslide.us Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	maeguayas.files.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
21	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
22	vdocuments.es Fuente de Internet	<1 %
23	J. García-González, M.A. Osorio-Ortega, R.A. Saquicela-Rojas, M.L. Cadme. "Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador", Ingeniería del agua, 2021 Publicación	<1 %
24	helvia.uco.es Fuente de Internet	<1 %
25	Submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco Trabajo del estudiante	<1 %
26	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
27	www.observatoriocaldera.cl Fuente de Internet	<1 %
28	www.bwcplazahotel.com Fuente de Internet	<1 %
29	www.conanp.gob.mx Fuente de Internet	<1 %

		<1 %
30	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
31	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
32	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
34	med.se-todo.com Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
37	webbeta.catie.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
38	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
39	"Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Science and Business Media LLC, 2010 Publicación	<1 %

40	"Manual para la implementación de programas de monitoreo comunitario de la calidad del agua", Universidad Nacional Autónoma de México, 2018 Publicación	<1 %
41	Submitted to Universidad Manuela Beltrán Virtual Trabajo del estudiante	<1 %
42	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
43	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
44	enga.com.br Fuente de Internet	<1 %
45	gestion.pe Fuente de Internet	<1 %
46	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
47	proyectoagua.galeon.com Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

[repositorio.uteq.edu.ec:443](https://repositorio.uteq.edu.ec/443)

50	Fuente de Internet	<1 %
51	so04.tci-thaijo.org Fuente de Internet	<1 %
52	tesis.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
53	zagan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
54	moam.info Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo
 Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias Apagado

7.2 ANEXO II. Plan de muestreo

Escuela Politécnica Nacional

Escuela de Formación de Tecnólogos

Plan de Muestreo para la determinación de la calidad del agua de la Comuna Chilibulo Marcopamba La Raya

A. Base

Los documentos que se utilizaron para la elaboración del Plan de Muestreo de este proyecto fueron los siguientes:

- TULSMA
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169, Agua. Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras (2013).
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 971, Agua potable. Determinación de la turbiedad método nefelométrico (1983).
- Protocolo de Monitoreo de Agua, Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (2010).

B. Parámetros para determinar

Se detalla los parámetros que se van a analizar y la importancia de estos.

Tabla 1. Parámetros de medición in situ

Parámetro	Unidad	Importancia
Oxígeno disuelto	mg/L	Es un factor importante para la supervivencia de los organismos de vida acuática. Una alta carga orgánica puede indicar una baja concentración de oxígeno disuelto, que puede ser provocado por contaminación de aguas residuales.
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	Medida de la capacidad de la muestra para transmitir corriente eléctrica. Si la muestra de agua tiene contiene

		materias orgánicas y coloidales significa que esta tiene baja conductividad, al contrario de las sales minerales son buenas conductoras.
Potencial Hidrógeno	pH	Es un factor importante ya que la variación de este puede provocar perturbaciones celulares y eliminación de flora y fauna acuática.
Temperatura	°C	La variación de este parámetro puede influir en la solubilidad de los gases, dilución de sales, en la conductividad y pH.
Turbiedad	UNT	La turbiedad en la muestra de agua está relacionado a la presencia de sólidos suspendidos, materia orgánica e inorgánica o microorganismos.

Tabla 2. Parámetros para analizar en laboratorio

Parámetro	Unidad	Importancia
Sólidos Totales (ST), Sólidos suspendidos (SS) y Sólidos disueltos (SD)	mg/L	El contenido de sólidos permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión de la muestra de agua. Los sólidos pueden causar cambios en la calidad del agua, como la turbiedad por la presencia de una alta concentración de sólidos suspendidos.
Nitratos	mg/L	Estos parámetros pueden indicar la contaminación del agua con presencia de iones metálicos, materia orgánica e inorgánica, así como una alta o baja concentraciones de nutrientes, oxígeno, presencia de detergentes o pesticidas que puede deberse a actividades agrícolas, ganaderas o domésticas.
Nitritos	mg/L	
Amonio	mg/L	
DBO	mg/L	
DQO	mg/L	
Hierro	mg/L	
Manganeso	mg/L	
Fosfatos	mg/L	
Sulfatos	mg/L	
Coliformes Totales	nmp/100 mL	La presencia de estos parámetros puede deberse a la descarga de aguas residuales negras de malas conexiones de saneamiento o de actividades ganaderas cerca de la vertiente.
Coliformes fecales	nmp/100 mL	

C. Ubicación de puntos de muestreo

Para la determinación de los puntos de muestreo primero se deberá obtener toda la información acerca del sistema de abastecimiento y realizar un recorrido para conocer las vertientes y los lugares a donde llegan. Para ello es importante que los puntos de muestreo cumplan con los siguientes criterios.

Identificación: Los puntos que se seleccionen para el muestreo deben estar claramente identificados y de ser posibles georreferenciados en coordenadas UTM.

Accesibilidad: Los puntos de muestreo que vayan a ser seleccionados deben tener un acceso rápido y seguro.

Seguridad: Los puntos de muestreo que sean seleccionados deben contar con un alto nivel de seguridad para que la persona encargada de tomar las muestras de agua no se exponga a peligros.

D. Puntos de muestreo

Como mínimo debe ubicarse dos puntos de muestreo: aguas arriba y aguas abajo. Para el presente proyecto los dos puntos establecidos para el muestreo y caracterización del agua de la Comuna son:

Código	Nombre	Coordenada X	Coordenada Y	Altura (msnm)
P1	Captación	772535	9975226	3279
P2	T. almacenamiento	772323	9974121	3226

E. Número de muestras a tomar y parámetros a determinar

Se tomarán en total 2 muestras por cada uno de los puntos. El volumen total por tomar en cada punto será de 4 litros para los análisis de laboratorio y adicional un frasco esterilizado de 100 mL para análisis de coliformes. Los parámetros que se van a determinar son físicos, químicos y microbiológicos, los cuales tan detallados en la Tabla 1 y 2 del Plan de Muestreo.

Muestreo, preservación, conservación y transporte de las muestras al laboratorio de análisis Manejo y conservación

De acuerdo con la Norma INEN 2169 (2013) los recipientes y tapas que van a ser utilizados para tomar la muestra deben estar limpios, los recipientes plásticos deben ser lavados muy

bien para que no quede ningún residuo dentro de este. Sobre todo, estos contenedores deben encontrarse en buen estado para evitar que la muestra se riegue por alguna fisura.

Para la conservación de la muestra se pueden añadir sustancias químicas que permita la protección y conservación de materia orgánica que puede ser susceptible a degradación química o biológica.

Muestreo

Para los análisis físicos y químicos los frascos deben llenarse completamente y taparse de tal forma que no haya aire dentro del recipiente. Luego de haber tomado las muestras, estas deben ser llevadas a refrigeración por un periodo corto de tiempo para que posteriormente puedan ser transportadas al laboratorio (INEN 2169. Muestreo, manejo y conservación de muestras, 2013)

Transporte de las muestras

Los frascos deben estar perfectamente sellados y para la transportación las muestras deben guardarse en un medio fresco y protegidas de la luz. Puede utilizarse un Cooler o hielera para conservar las muestras hasta llegar al laboratorio (INEN 2169. Muestreo, manejo y conservación de muestras, 2013)

Rotulado

Los frascos deben estar señalados de manera clara y permanente para que pueda ser entendible de que punto de muestreo se está realizando los análisis. Adicional a esto se puede anotar detalles como fecha, hora de muestreo, nombre de la persona que tomo la muestra, la naturaleza del agua, etc (INEN 2169. Muestreo, manejo y conservación de muestras, 2013).

F. Registro de datos tomados en campo

Temperatura ambiente			21 °C			
Fecha	Hora	Código	Lugar	Altura (msnm)	pH del agua	Nº de muestras
16/01/2022	8:57 a.m.	P1	Captación	3279	12.27	2
16/01/2022	9:50 a.m.	P2	T. almacenamiento	3220	12.17	2

7.3 ANEXO III Resultados de análisis CICAM



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 02 de febrero de 2022

No.IRI-22-038

DATOS DEL CLIENTE:

Director proyecto-investigación: Ing. Santiago Guerra
Nombre del testista: Josselline Toasa
RUC: -
Dirección: -
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: -
Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2022-01-17
No. Oferta de Servicio: OF22-021
No. Solicitud de trabajo: ST-22-008
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
Código de la muestra: MI-22-038
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 17 de enero al 01 de febrero de 2022
Temperatura de ingreso al laboratorio: 5,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	-	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2022-01-17	Plástico	1	No
Rotulación de la muestra:	P1	Plást. estéril	1	No
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	-			
Origen de la muestra:	-			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
(c) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C / Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	1,1
(c) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C / Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	1,1
(a) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	PE-V-06 SM Ed. 23 5210B / Volumetría	mg/L	< 2

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

Acreditaciones:

(a) Acreditación N° SAE LEN 06-012. Alcance específico de la acreditación: www.acreditacion.gob.ec

(c) Parámetro no acreditado

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

Observaciones:

El valor de DQO entregado por el testista 17 mg/L.

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



Firmado electrónicamente por:
JAIRO ENRIQUE
JIMPIKIT
CHUINTIAM

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO



Firmado electrónicamente por:
GRETA CAROLA
FIERRO NARANJO

Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADORA DE LABORATORIO



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253, Edificio Nro. 11
RUC: 1760005620001 Tel.: (+593-2) 2976300 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864
Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec • Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Fecha: 02 de febrero de 2022

No.IRI-22-039

DATOS DEL CLIENTE:

Director proyecto-investigación: Ing. Santiago Guerra
Nombre del tesista: Josseline Toasa
RUC: -
Dirección: -
Teléfono convencional: -
Teléfono celular: -
Correo electrónico: -

DATOS DEL LABORATORIO:

Fecha de recepción: 2022-01-17
No. Oferta de Servicio: OF22-021
No. Solicitud de trabajo: ST-22-008
Tipo de servicio: Servicio de ensayo aplicado a la investigación
Código de la muestra: MI-22-039
Lugar de análisis: CICAM - Quito - Ladrón de Guevara E11-253
Fecha de análisis: 17 de enero al 01 de febrero de 2022
Temperatura de ingreso al laboratorio: 5,0°C

DATOS DE LA MUESTRA SUMINISTRADOS POR: CLIENTE

Nombre del Proyecto:	-	Tipo de envase:	Nº de envases:	Preservante:
Fecha de muestreo:	2022-01-17	Plástico	1	No
Rotulación de la muestra:	P2	Plást. estéril	1	No
Tipo de muestreo:	Puntual			
Tipo de muestra:	Agua Natural			
Lugar de muestreo:	-			
Origen de la muestra:	-			
Responsable de muestreo:	Cliente			

PARÁMETRO	MÉTODO DE REFERENCIA/ MÉTODO INTERNO	UNIDAD	RESULTADO
(c) Coliformes fecales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C / Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	1,1
(c) Coliformes totales	PE-V-46 SM Ed. 23 9221B, 9221C / Fermentación en Tubos múltiples	NMP/100 mL	2,2
(d) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	PE-V-06 SM Ed. 23 5210B / Volumetría	mg/L	< 2

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

Acreditaciones:

(a) Acreditación N° SAE LEN 06-012. Alcance específico de la acreditación: www.acreditacion.gob.ec

(c) Parámetro no acreditado

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

Observaciones:

El valor de DQO entregado por el tesista 6 mg/L

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: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
COORDINADORA DE LABORATORIO

7.4 ANEXO IV. Medición de parámetros in situ de cada vertiente

Vertiente Chupazuro 2 (V1)

Vertiente Luriyaku (V2)

Vertiente Chupazuro 1 (V3)

Vertiente Ashnituro (V4)

Parámetro	unidad	V1	V2	V3	V4
Temperatura	°C	14.37	12.67	12.13	11.54
pH	pH	5.78	6.04	5.91	5.28
Conductividad	(μ S/cm)	0.120	0.094	0.094	0.116
Oxígeno disuelto	mg/L	4.51	4.81	4.41	5.29
Oxígeno disuelto	%	61.7	63.3	57.3	67.8
SDT	g/L	0.078	0.061	0.061	0.075
Turbiedad	NTU	0.29	4.99	0.77	38.4

7.5 ANEXO V. Fotografías de vertientes, captación y tanque de almacenamiento

Vertiente 1. Chupazuro 2



Vertiente 2. Luriyaku



Vertiente 3. Chupazuro 1



Vertiente 4. Vertiente Ashnituro



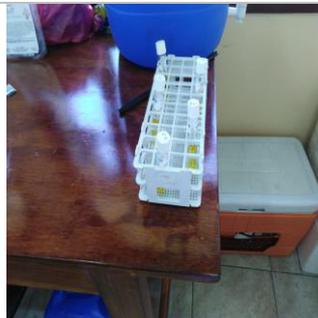
Tanque de almacenamiento



Tanque de almacenamiento



Análisis en laboratorio

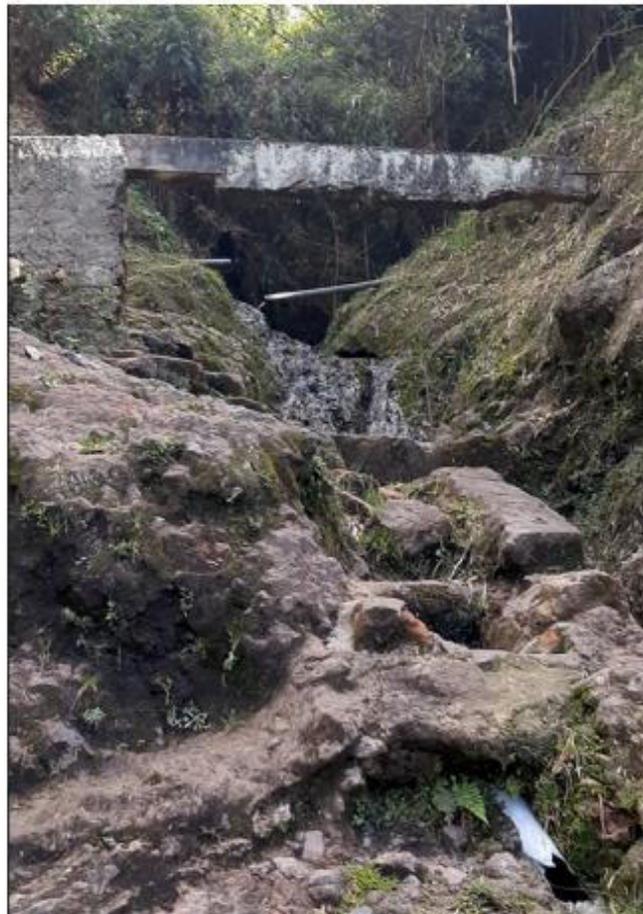


7.6 ANEXO VI. Memoria técnica

Escuela Politécnica Nacional

Agua y Saneamiento Ambiental

PROPUESTAS DE MEJORA AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA



COMUNA CHILIBULO MARCOPAMBA LA RAYA

Elaborado por: Josselline Isabel Toasa Tatalcha

Memoria Técnica Comuna Chilibulo Marcopamba La Raya

Según la Guía para la calidad el agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la desinfección es un proceso importante para el suministro de agua potable. La eliminación de microorganismos patógenos es una operación que usualmente se la realiza mediante la utilización de productos químicos



- La Comuna Chilibulo- Marcopamba- La Raya cuenta con las siguientes vertientes: Chupazuro 1 y 2, Luriyaku y Ashnituro.
- Las vertientes son captadas y llevadas mediante una red de tuberías al tanque de almacenamiento.
- El agua que es captada no posee ningún tipo tratamiento.

- En el punto de la captación, la tubería que se conecta a este punto presenta una rotura en la parte superior que puede ser observada en la imagen.



- Para la determinación de la calidad del agua que es distribuida a la comuna se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos en dos puntos estratégicos: la captación y el tanque de almacenamiento

Agua y Saneamiento Ambiental

Puntos de muestreo para la determinación de la calidad de agua

Para escoger los puntos de muestreo se tomo en cuenta los siguientes criterios:

- Accesibilidad a los lugares seleccionados.
- Representatividad de las muestras de agua tomadas para las análisis, evitando zonas de turbulencia.
- Seguridad, considerar que los lugares seleccionados a los puntos de muestreo sean seguros.

P1. Captación

1

Punto donde se unen tres vertientes (Chupazuro 1 -2 y Luriyaku), cuenta con una rejilla que permite detener los sólidos que estos recursos arrastran a su paso.



Parte interna de la captación



Parte externa de la captación

P2. Tanque de almacenamiento

2

A este lugar llega el agua de las cuatro vertientes mencionadas inicialmente, posee una estructura de cemento y cuenta con una tapa que protege el recurso hídrico que se almacena allí. Tiene dimensiones de 2.80 m de ancho y largo; y de altura posee un 1.70m. En su interior existe una escalera de metal.



Agua y Saneamiento Ambiental

Determinación de la calidad del agua



Para identificar en que condiciones se encontraba el agua que se le proporciona a la comuna, se realizaron análisis en campo y en laboratorio con equipos y materiales específicos para este trabajo.



Con los resultados obtenidos de estos análisis se pudo comparar estos valores con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, en este documento se establecen los criterios de calidad de agua para consumo humano, así como para uso ganadero y agrícola.

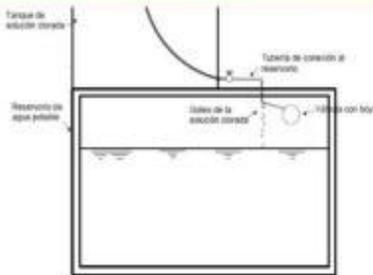
	Parámetro	Unidad	P1	P2	Limite máximo permisible (TULSMA)		
					Consumo humano	Riego agrícola	Uso pecuario
Campo	Temperatura	°C	12.27	12.17	-	-	-
	pH	pH	6.00	5.82	6-9	6-9	-
	Conductividad	µS/cm	99	89	-	-	-
	Oxígeno disuelto	mg/L	5.06	5.80	-	3	-
	Oxígeno disuelto	%	65.9	72.8	-	-	-
	Turbidez	NTU	3.89	2.97	100	5	-
	Laboratorio	Coliformes fecales	NMP/100mL	1.1	1.1	1000	1000
Coliformes totales		NMP/100mL	1.1	2.2	-	-	-
DQO		mg/L	17	6	<4	-	-
DBO ₅		mg/L	<2	<2	<2	-	-
Fosfatos		mg/L	0.37	0.09	-	-	-
Hierro		mg/L	0.17	0.13	1	5	-
Manganeso		mg/L	0.039	0.082	-	0.2	-
Nitritos		mg/L	0.007	0.010	0.2	0.5	0.2
Nitratos		mg/L	1.8	0.7	50	5-30	50
Nitrógeno amoniacal		mg/L	0.12	0.10	-	-	-
Sulfatos		mg/L	15	16	500	250	-
Sólidos totales		mg/L	146	140	-	-	-
Sólidos suspendidos		mg/L	43	27	-	-	-
Sólidos disueltos		mg/L	103	113	-	-	3000

Los valores que se encuentran señalados de color naranja, son aquellos que no cumplen con el rango permisible de la Norma.

En el caso del pH en el P2 puede deberse a que el agua este diluyendo iones metálicos como hierro o manganeso.

De acuerdo a estos análisis el agua se encuentra en condiciones aceptables sin embargo, debido a la normativa se debe realizar un proceso de desinfección para que pueda ser utilizada para su consumo.

Propuesta 1 Hipoclorador por goteo con flotador



El sistema tiene como objetivo desinfectar el agua que ingresa al tanque de almacenamiento, para ello la solución clorada (agua con hipoclorito de calcio) del tanque superior gotea en el interior del tanque de almacenamiento con un caudal constante.

Para el desarrollo de este sistema se tomó en cuenta algunos criterios:

- Caudal de entrada estará entre valores de 0.3L/s – 8 L/s.
- Tiempo de contacto de al menos 30 minutos ya que la eficiencia de este sistema baja con tiempos menores.
- La concentración de la solución clorada (C_1) no sobrepasará los 5000 mg/l
- Como se menciona en la norma INEN 1108, el cloro residual debe estar en un rango de 0.3 a 1.5 mg/L.
- Según [21], se tiene un periodo máximo de recarga de 15 días.

Caudal

Para el cálculo del caudal se puede utilizar el método volumétrico el cual consiste en llenar un recipiente que contenga medidas volumen y tomar el tiempo en el cual se llena el mismo, al menos se necesitan 3 mediciones. Para el cálculo de caudal se utiliza la siguiente fórmula

$$Q = \frac{V(L)}{T(s)}$$

Concentración de desinfectante

La determinación de la cantidad de cloro a dosificar para este caso de estudio se determinó utilizando la tabla 6.4 de la Norma de la EMAAP-Q., para lo cual se limitó los rangos de concentración de cloro de 0.4 mg/L a 1.4 mg/L debido al criterio señalado por la norma INEN 1108 que menciona que el cloro debe estar dentro del rango 0.3 a 1.5 mg/L.

Valores de K en mg min/L para plantas con remoción menor del 90% de coli total		
15°C		
C dosis de cloro mg/L	pH 6	Tiempo de contacto en minutos
0.4	33	82.5
0.6	33	55
0.8	35	43.75
1	35	35
1.2	36	30
1.4	38	26.43

Tiempo de contacto

Para el cálculo del tiempo de contacto se tiene la siguiente fórmula

$$t_c(\text{min}) = \frac{K}{C}$$

Propuesta 1 Hipoclorador por goteo con flotador

Volumen de tanque de contacto

Para la determinación del volumen necesario del tanque de contacto, la formula a utilizar fue la siguiente:

$$V_c = Q \left(\frac{m^3}{min} \right) * t_c (min)$$

Volumen de tanque de almacenamiento del proyecto

Para la determinación de este volumen, fue necesario contar con las dimensiones actuales del tanque de almacenamiento para posteriormente comparar este valor con el valor obtenido en V_c y conocer si tenia el volumen adecuado para el proceso, además se calculó el tiempo actual de contacto del agua que llega allí.

$$V_T (m^3) = L * A * H \qquad t_c = \frac{V_T}{Q}$$

Volumen de agua de ingreso al tanque

Para obtener este valor se utilizó el caudal que ingresa al tanque de almacenamiento y el tiempo de recarga del reservorio (tanque de almacenamiento) de solución clorada, que para este caso de estudio se tomó como 15 días, que es el tiempo máximo establecido en los criterios de diseño, la fórmula a utilizar fue la siguiente:

$$V_{H2O}(L) = Q \left(\frac{L}{s} \right) * tr(s)$$

Peso de hipoclorito de calcio 70%

Para conocer el peso del hipoclorito de calcio son necesarios los valores de volumen de agua que ingresa al tanque(L) y la concentración de cloro(mg/L).

$$P_{CaClO_2}(g) = \frac{V_{H2O} * C}{10 * \%de\ cloro}$$

Volumen mínimo de agua para disolución

Para la determinación de este dato se necesita el peso de hipoclorito de calcio en gramos y la concentración máxima de la solución clorada, que para este caso de estudio se optó por el valor de 5000 mg/L, esta concentración no puede sobrepasar este valor ya que puede provocar obstrucciones en la manguera por cristalización del cloro, en especial en aquellos lugares que tienen bajas temperaturas.

$$V_{min} = \frac{10 * P_{CaClO_2} * (\%Cloro)}{C_1}$$

Propuesta 1 Hipoclorador por goteo con flotador

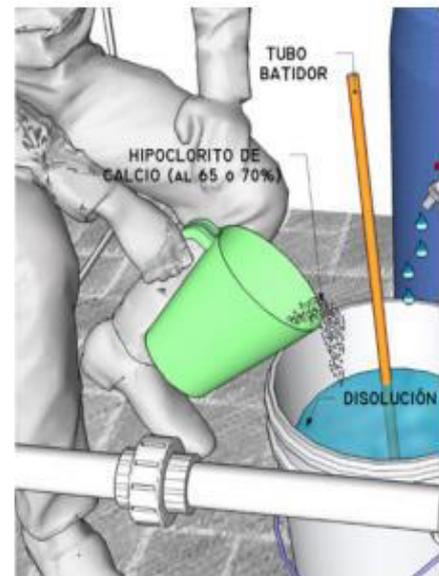
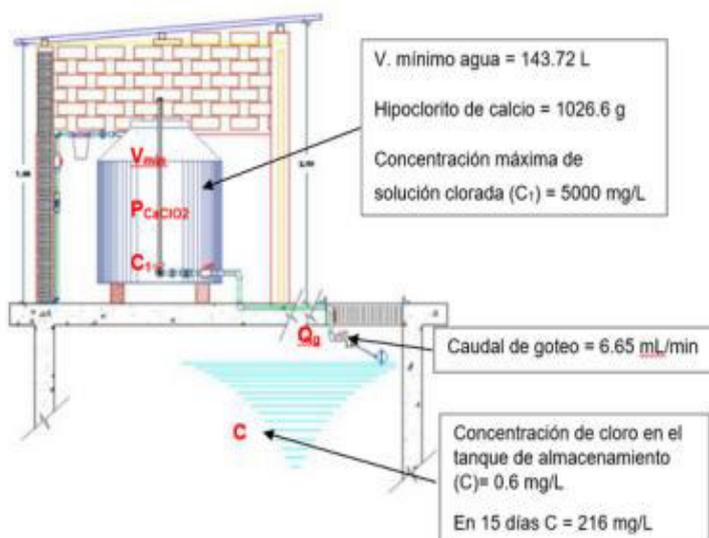
Caudal de goteo

De acuerdo con [21], este sistema posee dos cámaras o tanques, uno de ellos es de 600L el cual contendrá la solución madre que desembocará a la segunda cámara de 40L que tiene como función controlar el caudal de goteo, hallado con la siguiente ecuación:

$$Qg = \frac{V_{tc}}{t_r} \left(\frac{mL}{min} \right)$$

Resultados del sistema hipoclorador por goteo

Sistema de abastecimiento de agua de la comuna Chilibulo Marcopamba la Raya								
Temperatura (°C):			12.17	pH:				5.62
Caudal (L/s)	Tiempo de contacto (min)	Volumen mínimo de agua para disolución (L)	Peso hipoclorito de calcio (g)	Volumen de tanque recomendado (L)	Caudal de goteo (mL/min)	Gotas (got/min)	Tiempo de recarga (días)	
0.92	55	143.72	1026.6	600	6.65	99.81	15	



Agua y Saneamiento Ambiental

Propuesta 2 Operación y Mantenimiento



Tanque de solución clorada

Verificar que no exista residuos en el fondo del tanque y si es el caso, es necesario quitarla antes de hacer la siguiente recarga.

Este procedimiento se lo debe realizar de manera mensual o cada 15 días ya que ese es el tiempo de recarga establecido para este proyecto.



Flotador y manguera

Se debe comprobar el funcionamiento de estos accesorios, la manguera que va dentro del tanque con solución clorada debe estar extendida en todo momento, por otra parte, el flotador que va en el tanque de almacenamiento debe ser cambiado por lo menos una vez al año al igual que la manguera.



Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento debe ser limpiado internamente para evitar la presencia de materia orgánica en las paredes o incluso de lo que pueda venir arrastrando el agua durante todo su trayecto.

Este proceso debería realizarse semestralmente o de acuerdo al plan de mantenimiento que tenga esta estructura.

Llenar el tanque de almacenamiento de agua y luego verter una solución clorada que para este caso de estudio será 0.58 g de hipoclorito de calcio en 20 L de agua. Dejar esta mezcla en el tanque por 4 horas.



Red de distribución

Utilizar el agua que quedo en el tanque de almacenamiento para desinfectar las redes de distribución.

En las zonas bajas de las redes de distribución se deben abrir las válvulas de purga para que salga toda el agua que haya quedado retenida.

Propuesta 3 Tanque Sedimentador



Colocar un tanque sedimentador en el sitio de la captación, en el cual se acumulen los sólidos en especial los sedimentables. Este tanque sedimentador ayudaría en aquellas épocas de lluvia en las cuales el grado de turbiedad de las vertientes aumenta debido al arrastre de materia gruesa como: ramas, hojas, etc; y de solidos sedimentables que llega a la zona de captación. Dado que las vertientes son de diferente tipo (subterráneas y superficiales) podrían contaminarse entre si debido al arrastre de solidos y por ello se propone la implementación de un tanque sedimentador.

Agua y Saneamiento Ambiental

Conclusiones



Se evidenció que el sistema de abastecimiento de la Comuna Chilibulo- Marcopamba-La Raya no tiene un adecuado sistema de tratamiento con respecto a su recurso de agua y únicamente realiza un pretratamiento de separación de sólidos, a pesar de que el agua es utilizada por algunos comuneros únicamente para riego se debe procurar realizar una depuración que le permita contar con las condiciones aceptables para el consumo del ser humano.

Se comparó los resultados obtenidos de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos con la normativa vigente del Ecuador, TULSMA, la cual establece las pautas de calidad de los recursos hídricos para consumo humano y doméstico, de lo cual se obtuvo que los valores de las características analizadas se encuentran por debajo de los permisibles y que este recurso que es captado, almacenado y distribuido no ha de producir efectos en la salud de las personas pertenecientes a la comuna, sin embargo se debe tener cuidado con los valores relacionados a DQO y pH para que estos puedan estar dentro del rango aceptable de la Normativa TULSMA.

Los valores de DQO sobrepasan los límites máximos permisibles debido a la presencia de materia orgánica oxidable que produce contaminación en los puntos de muestreo seleccionados, estos resultados se pueden relacionar con las actividades humanas que se realizan cerca o sobre estas fuentes y con la propia carga contaminante del agua que adquiere de manera natural tras el recorrido que realiza hasta llegar al punto de captación.

Las fuentes de agua de la comuna se encuentran en buenas condiciones para ser utilizadas además del consumo humano con la respectiva desinfección, en actividades relacionadas a la agricultura y ganadería; dado que los comuneros poseen terrenos en los cuales cultivan y llevan a sus animales a pastar este recurso hídrico no les perjudicaría para poder utilizarlo en esas actividades.

Dado que la comuna no tiene un sistema de tratamiento de agua y que de acuerdo con las Norma de la EMAAP-Q es obligatorio contar con la desinfección de este recurso independientemente de su calidad, se propuso la implementación de un hipoclorador por goteo que tratará el caudal de ingreso (0.92 L/s) al tanque, mediante la adición de hipoclorito de calcio el cual se encargará de eliminar los organismos que se localicen en el recurso hídrico y para ello es necesario contar con un tanque que permita un tiempo de contacto de 55 minutos, es decir desde que se aplica la dosis de 0.6 mg/L de desinfectante hasta que se consume el agua, en este caso el volumen del tanque necesario es de 3.05 m³.



Agua y Saneamiento Ambiental

Recomendaciones



Al realizar el recorrido para la identificación de las fuentes de abastecimiento, la captación y tanque de almacenamiento se observa que la rejilla que detiene sólidos debe ser reemplazada con otra ya que se encuentra en un evidente estado de oxidación. Además, es importante solucionar el problema de la tubería que sale de la captación ya que posee un orificio que deja a intemperie el agua que pasa luego del pretratamiento.

Es importante realizar operaciones de mantenimiento en zona de la captación y en el reservorio ya que en ambos lugares hay evidencia de materia orgánica, en la captación se observa hojas de árboles, ramas y moscas pequeñas y, por otra parte, el tubo que llega al tanque de almacenamiento se evidenciaba con presencia de moho, así como las paredes del tanque. Estas actividades deben ser realizadas por personas que conozcan del tema por seguridad.

En cuanto a la propuesta de mejoramiento de la calidad del agua, es recomendable poner mucha atención en la cantidad de hipoclorito de calcio que se va a emplear para el tiempo de recarga que considere la comunidad, ya que al tener una concentración muy alta de ese compuesto puede causar obstrucción en las tuberías. También es importante considerar el tiempo de contacto de la solución clorada ya que a menor tiempo baja la eficiencia de esta.

La cantidad de cloro debe determinarse como mínimo semestralmente, debido a que las condiciones de las fuentes de abastecimiento pueden tener variaciones en sus características físicas, químicas o microbiológicas. Esto puede realizarse, por ejemplo, durante la estación de lluvias y de estiaje.

