



**Estudio del Diseño de una planta de tratamiento de agua para consumo humano a partir
de la evaluación de los parámetros físico químicos de las fuentes de agua en la parroquia
San Buenaventura**

Jácome Guano, Yomayra Monserrate

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Petroquímica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Petroquímica

M.Sc. Luna Ortiz, David Eduardo.

11 de marzo del 2021



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Estudio del Diseño de una planta de tratamiento de agua para consumo humano a partir de la evaluación de los parámetros físico químicos de las fuentes de agua en la parroquia San Buenaventura” fue realizado por la señorita Jácome Guano, Yomayra Monserrate el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 11 de marzo del 2020

Firma:



Ms.c Luna Ortiz, David Eduardo

C. C. 1802724912

Document Information

Analyzed document: Jácome Guano, Yomayra Monserate.pdf (D97863243)

Submitted: 3/10/2021 3:42:00 PM

Submitted by: Luna Ortiz Eduardo David

Submitter email: edluna@espe.edu.ec

Similarity: 2%

Analysis address: edluna.espe@analysis.arkund.com



Sources included in the report

SA	TESIS FINAL CARVAJAL JOSE.pdf Document TESIS FINAL CARVAJAL JOSE.pdf (D14871839)		2
W	URL: https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf Fetched: 3/10/2021 3:44:00 PM		1
W	URL: https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27128/1/TESIS%20PDF_.pdf Fetched: 1/21/2021 6:06:43 PM		1
W	URL: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-F... Fetched: 3/10/2021 3:44:00 PM		1
SA	TESIS LIGIA CARRILLO.docx Document TESIS LIGIA CARRILLO.docx (D40565331)		1
W	URL: https://docplayer.es/143186569-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html Fetched: 12/31/2019 2:31:49 PM		2
W	URL: https://docplayer.es/17838788-Universidad-de-cuenca-escuela-de-bioquimica-y-farmac... Fetched: 3/21/2020 12:37:11 AM		2
SA	TESIS FINAL_.pdf Document TESIS FINAL_.pdf (D97443811)		1
SA	Tesis- Fernando Villa.pdf Document Tesis- Fernando Villa.pdf (D31721675)		1
SA	CARACTERIZACIÓN FÍSICO–QUÍMICA DEL AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA GUARUMO, CA NT ... Document CARACTERIZACIÓN FÍSICO–QUÍMICA DEL AGUA DE LA PLANTA POTABILIZADORA, GUARUMO, CA NT ... (D64022096)		1
SA	tesis Dennys Vallejo.pdf Document tesis Dennys Vallejo.pdf (D14989151)		1
W	URL: http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6840/1/56T00729.pdf Fetched: 12/17/2020 7:14:45 PM		1



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Jácome Guano, Yomayra Monserrate**, con cédula de ciudadanía 050383835-1, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Estudio del Diseño de una planta de tratamiento de agua para consumo humano a partir de la evaluación de los parámetros físico químicos de las fuentes de agua en la parroquia San Buenaventura** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 11 de marzo del 2020

Firma

Jácome Guano, Yomayra Monserrate

C.C.: 050383835-1



DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Jácome Guano, Yomayra Monserrate**, con cédula de ciudadanía 050383835-1, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Estudio del Diseño de una planta de tratamiento de agua para consumo humano a partir de la evaluación de los parámetros físico químicos de las fuentes de agua en la parroquia San Buenaventura** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 11 de marzo del 2020

Firma

Jácome Guano, Yomayra Monserrate

C.C.: 050383835-1

DEDICATORIA

A mis padres Oscar y Doris, cada logro que consiga será para ustedes, porque me enseñaron a luchar y ser fuerte ante cualquier situación.

A mi hermano Emerson, por cuidarme y apoyarme incondicionalmente en cada momento de mi vida.

A Vicky, Emi. Caro y Andrés por ayudarme y darme ánimos cuando más los necesitaba.

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen María, por permitirme terminar esta etapa de mi vida y compartir este momento tan especial con mi querida familia.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional en cada momento de mi vida con todo su esfuerzo y dedicación para que pueda continuar con mis estudios y sobre todo por siempre confiar en mí.

A mi hermano, por ser la persona que ha estado junto a mí en los buenos y malos momentos durante toda mi vida y no dejar que me rinda; por apoyarme siempre con todo su amor incondicional y sus palabras de aliento.

A toda mi familia por estar presente y apoyarme en los momentos que los necesité.

A los docentes que fueron parte de mi formación académica; en especial al Ing. David Luna, por su tiempo, dedicación y ayuda con este proyecto; por confiar en mí y tener las palabras correctas en varias situaciones que necesite un consejo. Al Dr. Roman Rodríguez, por compartir sus conocimientos y experiencias que no sólo me servirán en mi vida profesional si no también personal.

A todos mis amigos, en especial a Jess, Israel M, Stalin y Pol V por enseñarme el valor de la amistad y estar junto a mí en cada momento de mi vida universitaria, por todos los momentos compartidos y todo su apoyo incondicional.

A todas las personas que de una u otra manera ayudaron a la culminación de este proyecto.

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Urkund	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	10
Índice de figuras.....	11
Resumen	13
Abstract.....	14
Introducción	15
Antecedentes	15
Planteamiento del problema.....	17
Justificación e Importancia.....	20
Objetivos.....	21
Fundamentos Teóricos	22
Ciudad de Latacunga.....	22
Agua	23
Análisis físico químicos aplicados al estudio de aguas	29

Tratamientos de potabilización del agua	31
Metodología	33
Ubicación	33
Muestras de agua	34
Análisis físico químico del agua	34
Análisis estadístico	36
Diseño de la planta de tratamiento de agua para consumo humano	36
Resultados y Discusión	39
Análisis de muestras de agua	39
Propuesta de diseño de la planta de tratamiento de agua destinada al consumo humano en la parroquia San Buena Ventura.....	56
Conclusiones y recomendaciones	64
Conclusiones	64
Recomendaciones	65
Referencias bibliográficas.....	67
Anexos	71

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Métodos de ensayos para diferentes parámetros de medición</i>	29
Tabla 2	<i>Rotulación para las muestras de agua obtenidas en los tanques de almacenamiento</i>	34
Tabla 3	<i>Concentración del amoniaco obtenida del análisis de agua</i>	41
Tabla 4	<i>Concentración de cobre obtenida del análisis de agua</i>	42
Tabla 5	<i>Conductividad obtenida del análisis de agua</i>	43
Tabla 6	<i>Concentración de Cromo total obtenida del análisis de agua</i>	44
Tabla 7	<i>Concentración de Demanda química de oxígeno obtenida del análisis de agua</i>	45
Tabla 8	<i>Concentración de Dureza obtenida del análisis de agua</i>	46
Tabla 9	<i>Concentración de Fluoruro obtenida del análisis de agua</i>	47
Tabla 10	<i>Concentración de Hierro total obtenida del análisis de agua</i>	48
Tabla 11	<i>Concentración de Nitratos obtenida del análisis de agua</i>	49
Tabla 12	<i>Concentración de Nitritos obtenida del análisis de agua</i>	50
Tabla 13	<i>Concentración de Oxígeno disuelto obtenida del análisis de agua</i>	51
Tabla 14	<i>Potencial hidrógeno obtenida del análisis de agua</i>	52
Tabla 15	<i>Concentración de Sólidos disueltos obtenida del análisis de agua</i>	53
Tabla 16	<i>Concentración de Sulfatos obtenida del análisis de agua</i>	54
Tabla 17	<i>Turbiedad obtenida del análisis de agua</i>	55

Índice de figuras

Figura 1	<i>Ubicación de los reservorios de agua de la parroquia San Buenaventura</i>	33
Figura 2	<i>Variación de concentración de amoniaco de las muestras de agua analizadas</i>	41
Figura 3	<i>Variación de concentración del cobre de las muestras de agua analizadas</i>	42
Figura 4	<i>Variación de la conductividad de las muestras de agua analizadas</i>	43
Figura 5	<i>Variación de concentración del cromo total de las muestras de agua analizadas</i>	44
Figura 6	<i>Variación de concentración de la demanda química de oxígeno de las muestras de agua analizadas</i>	45
Figura 7	<i>Variación de concentración de dureza de las muestras de agua analizadas</i>	46
Figura 8	<i>Variación de concentración de fluoruro de las muestras de agua analizadas</i>	47
Figura 9	<i>Variación de concentración de hierro total de las muestras de agua analizadas</i>	48
Figura 10	<i>Variación de concentración de nitratos de las muestras de agua analizadas</i>	49
Figura 11	<i>Variación de concentración de nitritos de las muestras de agua analizadas</i>	50

Figura 12 <i>Variación de concentración de oxígeno disuelto de las muestras de agua analizadas</i>	51
Figura 13 <i>Variación de potencial hidrógeno de las muestras de agua analizadas.....</i>	52
Figura 14 <i>Variación de concentración de sólidos disueltos de las muestras de agua analizadas</i>	53
Figura 15 <i>Variación de concentración de sulfatos de las muestras de agua analizadas</i>	54
Figura 16 <i>Variación turbiedad de las muestras de agua analizadas.....</i>	55
Figura 17 <i>Diagrama de las etapas que comprenden el sistema de tratamiento de agua</i>	61
Figura 18 <i>Diseño de la planta de tratamiento de agua propuesto</i>	63

RESUMEN

El presente proyecto de investigación realizó un estudio sobre la calidad del agua destinada al consumo humano en la parroquia San Buenaventura, en la provincia de Cotopaxi a partir del análisis de parámetros físico químicos. Se obtuvieron 2 muestras de agua de cada uno de los tanques de almacenamiento que posee la parroquia San Buenaventura, obteniendo un total de 6 muestras, se analizó la presencia de aceites y grasas, amoníaco, cianuro, cobre, cloro libre residual, turbidez, conductividad, cromo total, fluoruros, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, hierro total, nitratos, nitritos, potencial hidrógeno, sólidos disueltos, sulfatos y dureza. La recolección de muestras se basó en la metodología establecida por la Norma NTE INEN 2169:98 y el análisis de muestras en la metodología HACH (metodología desarrollada por HACH Company) aprobada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos US EPA. El equipo utilizado en la investigación fue un colorímetro portátil multiparamétrico DR900, un termo reactor HACH DRB200, electrodos y un medidor portátil HACH DBO LBOD10101. Una vez obtenidos los resultados se aplicó un diseño estadístico de bloques completos al azar, análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) y se comparó con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma NTE INEN 1108:2014 y la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. A partir de los resultados y valores estadísticos se planteó un diseño de la planta de tratamiento de agua con seis etapas que permitan disminuir las concentraciones de dureza, fluoruros y nitratos.

Palabras clave:

- **AGUA**
- **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**
- **CONTAMINANTES FÍSICO QUÍMICOS**

ABSTRACT

This research project carried out a study on the quality of water intended for human consumption in the San Buenaventura parish, in the province of Cotopaxi based on the analysis of physical-chemical parameters. Two water samples were obtained from each of the storage tanks owned by the San Buenaventura parish, obtaining a total of 6 samples, the presence of oils and fats, ammonia, cyanide, copper, residual free chlorine, turbidity, conductivity were analyzed, Hexavalent Chromium, Fluorides, Chemical Oxygen Demand, Dissolved Oxygen, Total Iron, Nitrates, Nitrites, Hydrogen Potential, Dissolved Solids, Sulfates, and Hardness. The collection of samples was based on the methodology established by the NTE INEN 2169:98 standard and the analysis of samples on the HACH (methodology developed by HACH Company) methodology approved by the United States Environmental Protection Agency US EPA. The equipment used in the research was a DR900 multiparameter portable colorimeter, a HACH DRB200 thermoreactor, electrodes and a HACH BOD LBOD10101 portable meter. Once the results were obtained, a statistical design of complete random blocks was applied, analysis of variance (ANOVA) with a confidence level of 95% ($\alpha = 0.05$) and it was compared with the maximum permissible limits established in the NTE INEN 1108 Standard: 2014 and the Environmental quality and effluent discharge standard: water resource. Based on the results and statistical values, a design of the water treatment plant with six stages was proposed to reduce the concentrations of hardness, fluorides and nitrates.

Key words:

- **WATER**
- **WATER TREATMENT PLANT**
- **PHYSICAL CHEMICAL CONTAMINANTS**

1. Introducción

1.1 Antecedentes

En las últimas décadas el crecimiento económico y la globalización han permitido mejorar y facilitar el estilo de vida de los seres humanos, pero junto con estas mejoras también se han incrementado los riesgos para la salud, esto como consecuencia de las actividades antropogénicas de los seres humanos. No existe un conocimiento específico acerca de todos los contaminantes a los que estamos expuestos, tan solo se puede extrapolar la información obtenida de experimentos en laboratorios, pero lo que sí se sabe es que el agua, aire y el suelo pueden transmitir diversas enfermedades provocadas por agentes químicos y microbiológicos, esto como consecuencia de una contaminación ambiental que día a día va en ascenso (Marcos, 2005).

La contaminación ambiental es uno de los problemas más graves que los seres humanos enfrentan en la actualidad, diversos países han sido testigos de las consecuencias de la contaminación por parte del sector industrial, sin embargo, dicho sector no es el único responsable, ya que también los seres humanos son responsables de la contaminación existente, teniendo como resultado la polución de ríos, océanos, aire y suelo. En nuestro país uno de los principales recursos naturales que se ha visto afectado es el agua (Hidalgo & Osorio, 2013).

El agua es uno de los principales recursos naturales indispensables para el desarrollo de la vida, es un recurso no renovable al cual no todos los seres humanos pueden acceder y cuya capacidad de purificación a través de su ciclo de regeneración se ha visto afectado. Si bien es cierto desde la antigüedad los ríos se han utilizado como botaderos y como medios que transportan toda clase de desechos como consecuencia de la actividad humana, pero en

este siglo es cuando la degradación de los ríos y mares ha aumentado de manera alarmante, existiendo sitios donde la contaminación del agua es irremediable (Fernández, 2012).

Existe un sin número de usos a los cuales se destina el agua, en varios lugares del planeta la demanda de agua supera la oferta de la misma, siendo el principal uso del agua el destinado a la actividad doméstica, es decir para el consumo de los seres humanos, pero para que el agua pueda ser consumida por una población debe de ser potable. El agua potable o agua de consumo inocua, según las guías de la OMS, es aquella que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume toda una vida (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Si bien es cierto desde la antigüedad han existidos diferentes métodos de tratamientos de agua, el hervir agua, exponerla al sol o filtrarla con grava han permitido que la calidad del agua mejore. En la actualidad, después de diversos estudios, se ha demostrado la importancia de implementar un tratamiento al agua destinada al consumo humano, el tratamiento en sí depende de todo un sistema comprendido de procesos físicos, químicos y biológicos. La filtración, adsorción, aireación, floculación y la clarificación o sedimentación son considerados procesos físicos; la coagulación, desinfección, ablandamiento y oxidación son considerados procesos químicos; mientras que la digestión aerobia y anaerobia son considerados procesos biológicos. Cada proceso es aplicado según la calidad del agua a tratar, por lo que el diseño de una planta de tratamiento de agua es único y se diseña a partir del análisis del agua a tratar (Salamanca, 2016).

Según información de las bases del Instituto nacional de Estadística y censo INEC, obtenida en el año 2019 y reportada en el año 2020, de 221 municipios registrados en Ecuador, el 90% posee sistemas de tratamientos de agua para consumo, el 82.3% de municipios cumplen con los requisitos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 y el 1.0% compra agua a otros cantones (Instituto Nacional de Estadística y

Censo INEC, 2020). La gestión de prestación de servicios de agua potable se da a través de departamentos, direcciones o unidades propias de cada uno de los municipios del país.

En Ecuador la “Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua” (Presidencia de la República del Ecuador, 2020) es la Ley Ambiental que regulariza la calidad de agua destinada al consumo humano y los diferentes usos a los que se destina el agua. Tanto en la Ley Ambiental como en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020) se detallan los límites máximos permisibles de sustancias químicas y biológicas junto con los aspectos físicos que debe poseer el agua para que pueda ser consumida por los seres humanos. A pesar de que existe una Ley Ambiental y Normas que garanticen la calidad del agua para consumo humano la entidad encargada de regularizar los procesos que garanticen el correcto tratamiento del agua no cumple con los controles debidos, por lo que varias zonas del país no poseen sistemas de potabilización de aguas.

En la ciudad de Latacunga en la provincia de Cotopaxi, en varias de las parroquias rurales, el agua destinada al consumo humano proviene de fuentes naturales y es distribuida a la población sin ningún tratamiento previo. En la parroquia San Buenaventura el agua para consumo humano se obtiene de 10 fuentes de producción natural, el agua es recolectada en tres tanques de almacenamiento de 23000 L, 16000 L, y 10000 L para posteriormente ser distribuida a toda la población que comprende dicha parroquia sin ningún tipo de tratamiento que permita convertir el agua recolectada en agua potable.

1.2 Planteamiento del problema

El Plan del Buen Vivir establecido por la Republica del Ecuador, dentro de sus varios objetivos, tiene como fin garantizar y preservar los derechos de la naturaleza para actuales y futuras generaciones, permite y promueve el acceso a información y educación ambiental,

para constituir una sociedad comprometida y con conciencia social respecto a los modelos de consumo y gestión de hábitat. Lo que permite la creación de leyes que promuevan una política ambiental urbana, cuyo objetivo será fortalecer las capacidades de los gobiernos locales y organizaciones sociales, que permitan prevenir y controlar la contaminación ambiental, minimizando potenciales consecuencias negativas sobre el medio ambiente o la salud de las personas (Consejo Nacional de Planificación, 2017).

El agua es un recurso esencial para la vida, es un recurso renovable, pero a la vez finito. A pesar de que el agua cubre más del 70% de la superficie terrestre no puede ser consumida en su totalidad por los seres humanos, tan solo un pequeño porcentaje del total es agua dulce, la misma que es destinada para recursos hídricos y generalmente proviene de aguas subterráneas o de aguas superficiales (Fernández, 2012).

El agua puede ser contaminada de muchas maneras, el agua de origen natural posee microorganismos propios de su ambiente, los ríos y océanos son contaminados principalmente por aguas residuales y las descargas de aguas utilizadas en procesos industriales, el agua utilizada para la producción agrícola se contamina con los pesticidas y plaguicidas utilizados en las siembras, mientras que el agua superficial de bosques y selvas son contaminadas por las especies endémicas de la zona, además de la contaminación generada por la actividad humana. La principal fuente de contaminación del agua de consumo humano se da a través de las aguas residuales ya que poseen microorganismos patógenos que son transmitidos a través del ambiente y regresan a la población en el agua para beber. Las aguas residuales, junto con las aguas utilizadas en procesos industriales y la contaminación generada por los seres humanos provocan que los niveles de tolerancia de microorganismos patógenos, metales pesados, sustancias orgánicas, aspecto, sabor y color cambien radicalmente el agua de ríos, océanos e inevitablemente el agua de consumo

humano; por lo que la relación entre los altos niveles de contaminación y la salud humana es directamente proporcional (Bofill et al., 2005).

El agua destinada al uso doméstico y consumo humano debe de ser potable, es decir, que debe cumplir con parámetros de calidad que garanticen que el agua esté libre de cualquier tipo de contaminación (Fernández, 2012). El único riesgo para la salud humana por consumo de agua se produce al momento de destinar agua sin ningún tipo de tratamiento previo, es decir agua no potable, para consumo doméstico. Lo que puede provocar la transmisión de agentes patógenos, consumo de metales pesados, consumo de microorganismos y bacterias perjudiciales para el cuerpo humano, esto debido a las condiciones de higiene, saneamiento y protección de las fuentes de agua (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Un análisis de los parámetros físico químicos del agua proveniente de fuentes naturales y almacenada para posteriormente ser distribuida a la población de la parroquia San Buenaventura permitió determinar el nivel de contaminación existente, proporcionando información necesaria para realizar un estudio sobre el diseño de una planta de tratamiento de agua destinada al consumo humano y su efecto sobre la calidad del agua ya tratada.

Los parámetros físico químicos que se tomaron en cuenta para el presente proyecto de investigación son: aceites y grasas, amoníaco, cianuro, cobre, cloro libre residual, turbidez, conductividad, cromo total, fluoruros, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, hierro total, nitratos, nitritos, potencial hidrógeno, sólidos disueltos, sulfatos y dureza.

El diseño de la planta de tratamiento de agua para consumo humano se planteó a partir de la evaluación de los parámetros físico químicos y de la literatura especializada en el

diseño de plantas de tratamientos de agua obtenida a lo largo de la investigación. El modelo propuesto fue diseñado con ayuda del software INVENTOR.

1.3 Justificación e Importancia

El principal uso del agua dulce, en el planeta, es el destinado al consumo humano, pero no toda la población posee acceso a fuentes naturales de agua, suministros de distribución de agua confiables o un suministro de agua potable que garantice todos los parámetros de calidad al momento que el agua llegue a cada uno de los hogares. En los países desarrollados es en donde se encuentra con mayor frecuencia sistemas de potabilización de aguas, sistemas de tratamiento de aguas residuales, sistemas que garanticen la correcta distribución del agua potable y leyes que permitan cuidar el medio ambiente; de esta manera se evita la contaminación del agua. Sin embargo, las enfermedades producidas por la contaminación del agua no se encuentran erradicadas en su totalidad, lo que nos indica que sus sistemas no son totalmente eficientes.

En Ecuador cada uno de los Gobiernos autónomos descentralizados se encargan de proveer de agua potable a la población de la zona mediante sus municipalidades. La distribución de agua de consumo se lo realiza a través de empresas públicas municipales y empresas públicas mancomunadas.

En el sector rural es donde se encuentran las empresas públicas mancomunadas en los entes de juntas de agua, siendo la principal fuente de obtención de agua o de fuentes superficiales, por lo que dicha agua puede llegar a contaminarse con la actividad antropogénica del sector.

Un estudio sobre el diseño de una planta de tratamiento de agua destinada al consumo de una población a partir de una evaluación físico química permitirá obtener información sobre los niveles de contaminación actuales y el porcentaje de purificación que

se puede llegar a obtener después de aplicar un tratamiento específico para el tipo de agua analizada en el presente proyecto.

Adicionalmente el presente estudio permitirá concluir si la contaminación existente se encuentra relacionada con la actividad industrial y antropogénica propia de la parroquia de San Buenaventura, plantear futuras investigaciones como el estudio del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, un estudio sobre contaminación de los ríos que atraviesan la parroquia, un estudio sobre la relación entre la contaminación de los ríos y la actividad agrícola y ganadera de la zona, entre otros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Elaborar un estudio para el diseño de una planta de tratamiento de agua para consumo humano a partir de la evaluación de los parámetros físico químicos de las fuentes de agua en la parroquia San Buenaventura.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Obtener muestras de agua destinada al consumo de la población de la parroquia de San Buenaventura, en la Ciudad de Latacunga para determinar las diferentes concentraciones de los parámetros físico químicos propuestos.
- Analizar la concentración de los parámetros físico químicos propuestos para cada muestra de agua obtenida.
- Determinar que concentraciones sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la legislación ambiental vigente.
- Elaborar un esquema que contenga los tratamientos que comprenden una planta de tratamiento de agua para consumo humano a partir de los resultados obtenidos.
- Evaluar de manera teórica la factibilidad del diseño de la planta de tratamiento de agua propuesto.

2. Fundamentos Teóricos

2.1 Ciudad de Latacunga

La ciudad de Latacunga es capital de la provincia de Cotopaxi, con una altitud que va desde los 2700 a 3000 metros sobre el nivel del mar, ubicada en la en la parte Sur – Este del territorio provincial y en la parte Centro – Norte del país. El Cantón Latacunga posee 5 parroquias urbanas, La Matriz, Juan Montalvo, Ignacio Flores, Eloy Alfaro y San Buenaventura, y 10 parroquias rurales, Aláquez, Belisario Quevedo, Guaytacama, Joseguango Bajo, Mulaló, Pastocalle, Poaló, Once de Noviembre, Tanicuchí y Toacaso. Los ríos y vertientes que nacen dentro del Parque Nacional Cotopaxi son la principal fuente de abastecimiento a los tres sistemas de agua potable, sin embargo, estos sistemas no son capaces de abastecer a toda la ciudad, por lo que se evidencia un déficit de agua potable principalmente en las parroquias rurales. Se han detectado alrededor de 100 sistemas independientes o juntas de agua potable que cubren alrededor del 60% de la población existente en la ciudad de Latacunga (Sanchez, 2016).

La ubicación exacta del presente trabajo de investigación se localiza en la parroquia San Buenaventura de la ciudad de Latacunga, en los reservorios de agua de dicha parroquia.

2.1.1 Parroquia San Buenaventura

La parroquia San Buenaventura es parte de la zona urbana del cantón Latacunga, sin embargo, posee barrios o localidades que se encuentran en el sector rural, Bellavista, San Silvestre y Santo Domingo, comprende una gran extensión dentro del territorio cantonal, se encuentra separada del centro de la ciudad por la infraestructura del aeropuerto de Latacunga, en lo referente al sistema hídrico, el agua de consumo humano de la parroquia no pertenece a ninguno de los tres sistemas de agua potable que posee la ciudad de Latacunga. El agua es obtenida de fuentes naturales, almacenada y distribuida a los

habitantes de la parroquia mediante la gestión de los miembros de la junta de agua (Sanchez, 2016).

2.2 Agua

El agua es un recurso natural de gran importancia para el desarrollo de la vida debido a sus propiedades únicas como solvente universal, reactivo ideal en varios procesos metabólicos, posee una gran capacidad calorífica y es capaz de expandirse cuando se congela. Al ser un recurso fundamental para el desarrollo de la vida también se ha convertido en un elemento condicional para el desarrollo socioeconómico y mejoramiento de la salud poblacional. Es un recurso al que no tienen acceso todos los habitantes del planeta, razón por la cual sus diversos usos también se ven limitados, el principal uso, que es el agua para consumo humano, en ciertas poblaciones del planeta es totalmente escasa y se relaciona de manera directa con el índice de enfermedades existente (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

2.2.1 Agua Potable

Se define como agua potable al tipo de agua que ha pasado por un tratamiento que tiene por objetivo modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas con el fin de garantizarla para el consumo humano (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

2.2.2 Contaminantes del agua

Existen diversos contaminantes de origen físico, químico y biológico que afectan la calidad del agua, sin embargo, los principales contaminantes de agua para consumo humano son:

- Aceites y grasas

Son compuestos orgánicos de origen animal o vegetal y dependiendo el lugar de análisis provienen de compuestos derivados del petróleo, son estables y no son de fácil

biodegradación. El principal efecto sobre los cuerpos de agua tiene que ver con la oxigenación de los mismos, ya que al crearse una película de grasas y aceites como resultado de la cantidad existente impide el intercambio de oxígeno entre el aire y agua, además absorbe la radiación solar, afectando la actividad fotosintética (Jiménez Morales, 2012).

- Amoníaco

En la naturaleza se puede encontrar el amoníaco en su forma no ionizada (NH_3) o como ion amonio (NH_4^+), su concentración en aguas naturales y subterráneas, en general, es menor a 0.2 mg/L, pero puede variar debido a la ganadería intensiva o el uso de tuberías que posean revestimientos de mortero con cemento. La presencia de amoníaco en el agua no presenta una repercusión inmediata, ya que los efectos toxicológicos se presentan a exposiciones mayores a 200 mg/Kg de peso corporal. Sin embargo, el amoníaco reduce la eficiencia de la desinfección, obstaculiza la eliminación de magnesio, ocasiona problemas organolépticos y produce nitrito (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Cianuro

La presencia de cianuro en el agua de consumo y en ciertos alimentos, generalmente productos agrícolas, se debe a la contaminación producida por las industrias. La toxicidad del químico es alta y produce daños en el sistema nervioso y la tiroides (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Cobre

El cobre presente en el agua de consumo humano en su mayoría proviene de las tuberías de distribución del líquido, en aguas de corriente la concentración suele ser baja, mientras que en aguas retenidas la concentración es considerablemente más alta. El consumo de agua retenida por gran tiempo y distribuida por tuberías que contengan cobre y accesorios del mismo aumentan en gran medida la concentración de dicho metal en el agua,

al momento de llegar a su destino final. Los efectos de consumir cobre en el agua se evidencian en el aparato digestivo, que pueden ir desde problemas digestivos hasta ocasionar lesiones o cáncer (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Cloro libre residual

El cloro libre residual es el cloro remanente en el agua tratada o desinfectada luego de mantenerse en contacto por al menos 30 minutos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). El cloro es utilizado para la desinfección del agua, sobre todo para tratamientos de agua de consumo, el cloro reacciona con el agua formando ácido hipocloroso e hipocloritos, las personas pueden percibir el sabor del cloro en el agua de consumo cuando su concentración sobrepasa el valor de referencia. No se recomienda utilizar dióxido de cloro como desinfectante debido a que su toxicidad puede afectar el desarrollo neurológico y neuroconductual, no existe un valor de referencia respecto a su presencia en el agua ya que se transforma rápidamente a clorito (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Turbidez

La turbidez o turbiedad del agua es la medida perteneciente a la cantidad de materia suspendida, como arcilla, materia orgánica o materia inorgánica, en el agua que interfiere con un haz de luz, se expresa en unidades de nefelométricas de turbiedad (UNT) (Zhen Wu, 2009).

- Conductividad

Se define como conductividad a la medida de la actividad eléctrica de los iones en una disolución, la conductividad en el agua potable es un indicador de una posible filtración o en aguas naturales como indicador de descarga de aguas geotérmicas en manantiales superficiales (Zhen Wu, 2009).

- Cromo total

La fuente de obtención del cromo es la corteza terrestre ya que se encuentra distribuido de manera amplia en todo el globo terráqueo, por lo que las diversas corrientes de agua pueden transportar cromo. El cromo puede presentarse como divalente y total, el cromo total es cancerígeno por inhalación, sin embargo, durante exposiciones prolongadas pueden generar cáncer de pulmón, mientras que el cromo divalente no ha presentado ningún tipo de reacción o efecto contra la salud humana (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Fluoruros

Se estima que el contenido de flúor en la corteza terrestre es de aproximadamente 0.3 g/Kg, se lo puede encontrar en diversos minerales, por lo que la presencia del mismo en aguas de consumo es de origen natural. Sin embargo, también se lo encuentra en grandes cantidades en los desechos industriales como la producción de aluminio. Las altas concentraciones de fluoruro afectan principalmente a los tejidos óseos, es decir huesos y dientes. En muchas regiones los altos índices de exposición al fluoruro han sido la causa de los índices de morbilidad, también se ha identificado que las bajas concentraciones protegen a los niños de las caries dentales (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Demanda química de oxígeno

La demanda química de oxígeno en el agua se puede considerar como un valor aproximado de la demanda teórica de oxígeno, es decir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable en el agua. Este valor indica el contenido de materia orgánica del cuerpo de agua y es usado en el análisis de aguas industriales, residuales y agrícolas (Raffo Lecca & Ruiz Lizama, 2014).

- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la concentración de oxígeno libre en el agua, es de suma importancia para la preservación de la vida acuática y también ayuda con la prevención de olores (Presidencia de la República del Ecuador, 2020).

- Hierro total

Las aguas dulces presentan concentraciones de hierro en un rango de 0.5 a 50 mg/L en su composición original, en el agua de consumo humano, además, puede existir concentraciones considerables debido a la utilización de coagulantes de hierro y la corrosión de tuberías. La acumulación de hierro en el organismo afecta principalmente a tres órganos, el páncreas, hígado y corazón, que posteriormente puede desencadenar problemas hepáticos, cardíacos y diabetes (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Nitratos y Nitritos

Los iones nitrato y nitrito se encuentran de forma natural como parte del ciclo del nitrógeno. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede aumentar debido al contacto con tierras agrícolas, la contaminación de animales, seres humanos y la oxidación del amoníaco, mientras que la concentración de nitrito en el agua es consecuencia de la actividad microbiana y puede ser intermitente. La principal afección a la salud humana por niveles altos de nitratos y nitritos en el agua de consumo es la enfermedad denominada metahemoglobinemia, también llamada síndrome del recién nacido cianótico, ya que produce cianosis; y en concentraciones más altas de dichos iones se produce asfixia (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Potencial hidrógeno

Se sugiere que el pH del agua potable sea entre 6.5 y 8, esto puede cambiar respecto a las normas ambientales de cada país, con un pH menor a 6.5 o ácido se favorece la corrosión mientras que un pH superior a 8 genera un medio alcalino que beneficia la formación calcio. Un pH ácido puede llegar a causar daños en el sistema inmune, pérdida de la masa ósea y masa muscular, cansancio, fatiga crónica, dolor y espasmos musculares, caída del cabello y deterioro de las uñas e irritación de la piel (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales presentes en el agua de consumo humano provienen de fuentes naturales, aguas residuales, escorrentía urbana y aguas residuales industriales, comprende sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Niveles de concentración sobre el límite establecido puede cambiar el sabor del agua de manera radical además de afecciones a la salud dependiendo de que elemento en específico se encuentre en mayor cantidad (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Sulfatos

Los sulfatos se encuentran en diversos minerales del planeta tierra, por lo que se encuentra de manera natural en el agua, pero su concentración puede elevarse debido a la presencia de residuos industriales. Las concentraciones altas o la ingesta prolongada de los sulfatos mediante agua de consumo humano pueden producir un efecto laxante, por lo que afecta directamente al sistema digestivo (Organización Mundial de la Salud, 2020).

- Dureza

Se define como dureza del agua a la concentración de calcio y en menor cantidad de magnesio en el agua y se expresa como una concentración equivalente a la del carbonato de calcio. La dureza del agua puede afectar al sabor de la misma y facilita la formación de incrustaciones. Además, diversos estudios basados en epidemiología han demostrado una relación entre la dureza del agua consumida y enfermedades cardiovasculares (Organización Mundial de la Salud, 2020).

2.3 Análisis físico químicos aplicados al estudio de aguas

Existen diversos análisis que pueden ser aplicados al análisis de aguas, sin embargo, para su validez y aceptación deben de ser normada. Cada una de las normas aceptadas por diferentes países y laboratorios poseen métodos de ensayos específicos para cada elemento a ser analizado. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los elementos más comunes en el análisis de agua y los ensayos, generalmente utilizados, para cada uno de ellos.

Tabla 1.

Métodos de ensayos para diferentes parámetros de medición

Parámetro a ser medido	Método de ensayo
Temperatura	Medición directa con termómetro de mercurio
pH	Método potenciométrico
Color	Colorimetría
Turbiedad	Turbidimetría
Conductividad	Conductimetría
Sólidos disueltos totales	Gravimetría
Oxígeno disuelto	Método Winkler
BDO5	Método Winkler
NO2-N	Cromatografía líquida de alta resolución con fase móvil
NO3-N	Cromatografía líquida de alta resolución con fase móvil
NH4+-N	Potenciometría con electrodo selectivo de amoníaco
PO43—P	Cromatografía líquida de alta resolución con fase móvil

Parámetro a ser medido	Método de ensayo
Sodio	Absorción atómica a la llama
Potasio	Absorción atómica a la llama
Calcio	Absorción atómica a la llama
Magnesio	Absorción atómica a la llama
Bicarbonatos	Titulación ácido – base
Cloro	Cromatografía líquida de alta resolución con fase móvil
Sulfatos	Cromatografía líquida de alta resolución con fase móvil
Fluor	Potenciometría con electrodo selectivo de fluoruro
Boro	UV – Visible
Silicatos	Absorción atómica a la llama
Hierro total	UV – Visible
Coliformes Fecales	Número más probable
Escherichia coli	Número más probable
Salmonella	Enriquecimiento, aislamiento en placas e identificación con API 20 E

Nota: Recuperado de Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008.

2.3.1 Metodología HACH

La metodología HACH (metodología desarrollada por HACH Company) se basa en las diversas normas de estandarización para análisis de aguas, esta metodología se encuentra aprobada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos US EPA y contempla los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación.

En el presente trabajo de investigación se utilizó un procedimiento específico para cada parámetro a ser analizado. Se utilizó un total de 18 metodologías HACH (metodología desarrollada por HACH Company) para la obtención de concentración de cada uno de los parámetros propuestos, dichos procedimientos se encuentran detallados en el Anexo 2.

2.4 Tratamientos de potabilización del agua

El tratamiento de potabilización del agua es único para cada tipo de agua a tratar, los procesos físicos, químicos y biológicos dependerán netamente de la composición del agua y serán escogidos solamente después de un análisis de dicha agua. El tratamiento puede comprender una combinación de procesos o en el mejor de los casos de un solo proceso. Existen diversos procesos y cada uno cumple funciones específicas de eliminación de componentes físicos, químicos o biológicos (Chulluncuy Camacho, 2011).

Entre los principales procesos utilizados para el tratamiento de agua para consumo humano tenemos:

- Filtración

La filtración es un método que permite remover partículas de todo tamaño, se puede realizar mediante la utilización de mallas con orificios de diferentes tamaños para eliminar partículas de mediano y gran tamaño, mientras que para las partículas pequeñas se puede utilizar arena, como material filtrante, las partículas son retenidas por un proceso de adsorción que se genera en la superficie de la arena (Salamanca, 2016).

- Coagulación – floculación

Estos dos procesos van de la mano ya que la coagulación consiste en la adición de coagulantes que son capaces de desestabilizar partículas coloidales y la floculación es el proceso en el que las partículas coloidales chocan entre sí y se agrupan formando los llamados floc, para finalmente ser removidos (Chulluncuy Camacho, 2011).

- Sedimentación

Es un proceso físico que consiste en la remoción de partículas en suspensión del agua, debido al efecto de la gravedad, siempre y cuando las partículas sean más densas que

el agua. Como resultado se obtendrá agua clarificada y una suspensión más concentrada (Chulluncuy Camacho, 2011).

- Desinfección

Este proceso consiste en la destrucción de los organismos potencialmente infecciosos que puedan estar presentes en el agua, esto no significa que todos los organismos infecciosos y/o patógenos serán destruidos en su totalidad. El cloro es el compuesto químico más común e importante utilizado en los procesos de desinfección, puede utilizarse como gas, líquido o sal, deben tomarse precauciones con el uso del cloro ya que puede formar trihalometanos y son considerados compuestos potencialmente peligrosos (Chulluncuy Camacho, 2011).

3. Metodología

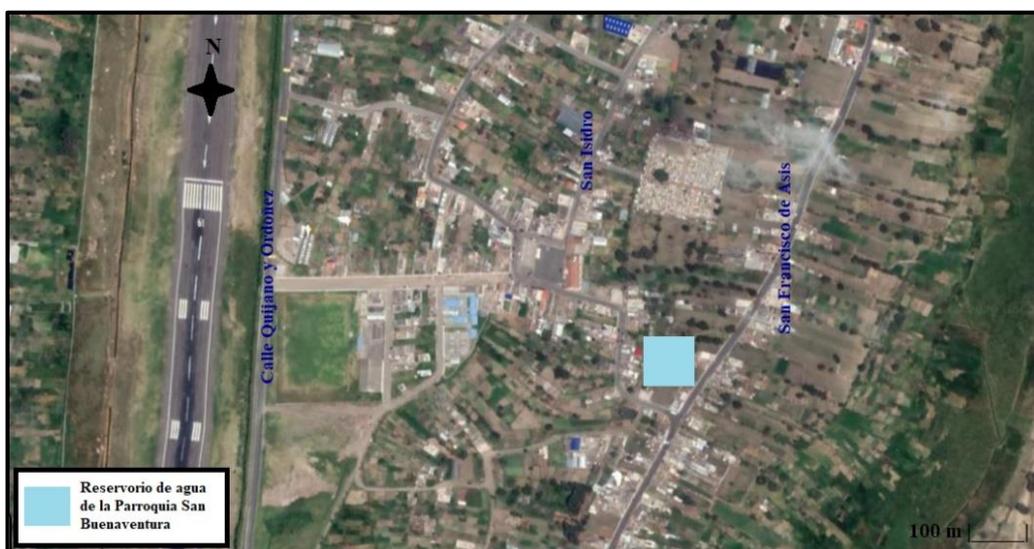
3.1 Ubicación

El presente proyecto se llevó a cabo en la parroquia San Buenaventura, de la ciudad de Latacunga, en la provincia de Cotopaxi, ubicada en el centro-norte de la Región interandina del Ecuador. Las muestras se obtuvieron de los reservorios de agua de la parroquia.

Los reservorios de agua destinada al consumo de los habitantes de la parroquia San Buenaventura se encuentran en el barrio Chile, en la calle San Isidro, detrás del cementerio Jardines de la Paz, como se observa en la Figura 1. El reservorio cuenta con tres tanques de almacenamiento, las muestras de agua fueron obtenidas de cada uno de los tanques de almacenamiento. La autorización por parte de la junta de agua de la parroquia San Buenaventura para poder llevar a cabo el presente trabajo de investigación se otorgó antes de la obtención de las muestras. (Anexo 1)

Figura 1.

Ubicación de los reservorios de agua de la parroquia San Buenaventura



Nota: Imagen extraída de la aplicación Google Maps (s.f).

3.2 Muestras de agua

Se tomó 2 muestras de cada uno de los tanques de almacenamiento del agua destinada al consumo de los habitantes de la parroquia San Buenaventura, con 7 días de separación entre cada toma de muestra, obteniendo un total de 6 muestras de agua.

Las muestras recolectadas se colocaron en envases de plástico según la Norma NTE INEN 2169:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) para posteriormente ser trasladadas al laboratorio para su respectivo análisis.

Con respecto a la rotulación, cada muestra fue etiquetada con una codificación que revela el número de muestra y el tanque de almacenamiento, como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2.

Rotulación para las muestras de agua obtenidas en los tanques de almacenamiento

Rotulación	Reservorio	Muestra
M1R1	Tanque de almacenamiento 1 (23000 L)	Muestra 1
M2R1	Tanque de almacenamiento 1 (23000 L)	Muestra 2
M1R2	Tanque de almacenamiento 2 (16000 L)	Muestra 3
M2R2	Tanque de almacenamiento 2 (16000 L)	Muestra 4
M1R3	Tanque de almacenamiento 3 (10000 L)	Muestra 5
M2R3	Tanque de almacenamiento 3 (10000 L)	Muestra 6

Nota: La tabla presenta la información correspondiente a cada etiqueta utilizada para la identificación de las muestras obtenidas.

3.3 Análisis físico químico del agua

Para el presente proyecto de investigación se analizó la concentración de aceites y grasas, amoníaco, cianuro, cobre, cloro libre residual, turbidez, conductividad, cromo total, fluoruros, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, hierro total, nitratos, nitritos, potencial hidrógeno, sólidos disueltos, sulfatos y dureza, una vez obtenidos los valores de concentración se estableció el diseño óptimo de la planta de tratamiento de agua.

3.3.1 Equipos y suministros

El equipo utilizado en el proyecto de investigación fue:

- Colorímetro portátil multiparamétrico DR 900
- Termo reactor HACH DRB200
- Electroodos
- Medidor portátil HACH DBO LBOD10101
- Equipo de destilación simple
- Balanza analítica
- Embudo simple y de decantación
- Vasos de precipitación de 50mL
- Pipetas de 10 mL, 20 mL y 30 mL
- Probetas de 10 mL y 20 mL
- Pinzas

Los equipos y suministros utilizados en el análisis de todos los parámetros físico químicos propuestos no presentan mayor variación ya que la metodología empleada contempla la utilización de los equipos mencionados. Los reactivos utilizados se especifican en cada uno de los procesos (Anexo 2).

3.3.2 Métodos HACH

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes métodos HACH (metodología desarrollada por HACH Company): el método 8506 para la determinación de cobre (Hach Company, 2020a), el método 10069 para la determinación de cloro residual (Hach Company, 2014a), el método 8204 para la determinación de dureza (Hach Company, 2019c), el método 8147 para la determinación de hierro total (Hach Company, 2014b), el método 8192 para la determinación de nitratos (Hach Company, 2019d), el método 10019 para la determinación de nitritos (Hach Company, 2015a), el método 8038 para la

determinación de amoníaco (Hach Company, 2017), el método 8000 para la determinación de la demanda química de oxígeno (Hach Company, 2014d), el método 8051 para la determinación de sulfatos (Hach Company, 2019e), el método 8027 para la determinación de cianuro (Hach Company, 2020b), el método 8237 para la determinación de turbidez (Hach Company, 2013), el método 8160 para la determinación de conductividad (Hach Company, 2019b), el método 8166 para la determinación de oxígeno disuelto (Hach Company, 2014c), el método 10076 para la determinación de potencial de hidrógeno (Hach Company, 2003), el método 8006 para la determinación de sólidos disueltos (Hach Company, 2014e), el método 8029 para la determinación de fluoruros (Hach Company, 2000), el método 8023 para la determinación de cromo total (Hach Company, 2019a) y el método 10056 para la determinación de aceites y grasas (Hach Company, 2015b).

Cada uno de los procedimientos utilizados se encuentran detallados en el Anexo 2.

3.4 Análisis estadístico

Una vez realizados los análisis de concentración para cada uno de los parámetros propuestos, los valores obtenidos fueron procesados en el programa estadístico MINITAB, se obtuvieron datos de media, varianza y desviación estándar. Se aplicó un diseño de bloques completos aleatorizados para cada parámetro medido y la prueba *t* de student con el fin de identificar si existe diferencia entre cada tanque de almacenamiento muestreado, el nivel de confianza utilizado para las pruebas estadísticas fue del 95% ($\alpha=0.05$).

3.5 Diseño de la planta de tratamiento de agua para consumo humano

Para diseñar una planta de tratamiento de agua hay que tomar en cuenta ciertos aspectos. Se debe hacer estimaciones y análisis que permitan llegar al diseño final de la planta.

El procedimiento a seguir para el diseño de la planta de tratamiento de agua es el siguiente:

- Nivel de complejidad. Tiene que ver directamente con el tipo de planta que se quiere diseñar y el número de habitantes a ser beneficiado (Castro & Cardenas, 2014).

La parroquia de San Buenaventura al ser considerada una parroquia urbana, según estimaciones debería poseer una planta capaz de abastecer a más de 60000 habitantes.

- Periodo de diseño. Se refiere al tiempo máximo de los componentes a ser utilizados en la planta de tratamiento de aguas, se realiza una estimación de vida útil de la planta antes de que requiera mejoras, remplazos o expansión de capacidad. El periodo de diseño puede ser de 25 años, siendo un nivel bajo y medio de diseño, y de 30 años, categorizándose como un nivel de diseño alto (Castro & Cardenas, 2014).
- Determinación de caudal, dotación, criterios y relaciones geométricas a ser utilizadas. Este aspecto se relaciona directamente con los componentes estructurales a ser utilizados. Cada país posee normas que regularizan estos aspectos y poseen información específica sobre construcción de las plantas de tratamiento de aguas. En Ecuador la Norma que regulariza dichos aspectos es la Norma NTE INEN 2655:2012 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) y es en la que se basará el diseño estructural y los aspectos mecánicos que una planta de tratamiento de agua debe poseer.
- Determinación de la calidad del agua cruda. Para el diseño y posterior construcción de una planta de tratamiento de agua de consumo es necesario realizar un análisis del agua a ser tratada, de esta manera se determinan las propiedades físicas, químicas y biológicas de dicha agua. Los límites máximos permisibles de cada uno de

las propiedades son diferentes para cada país, en Ecuador las normas que regularizan estas propiedades es la NTE INEN 1108:2011 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020); y son las que se tomarán en cuenta para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

4. Resultados y Discusión

4.1 Análisis de muestras de agua

En el presente trabajo de investigación se realizó el análisis de 6 muestras de agua obtenidas de 3 reservorios de agua destinada al consumo de la población de la parroquia San Buenaventura, se tomó en cuenta la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020) para establecer los valores de concentración que sobrepasan los límites máximos permisibles respecto a los parámetros físico químicos analizados para finalmente establecer el diseño de la planta de tratamiento de agua destinada al consumo humano.

Se obtuvieron un total de 6 muestras de agua, 2 muestras de cada reservorio de agua (3 reservorios de agua en total), con un intervalo de 7 días por toma de muestra. El análisis de concentración se lo realizó para aceites y grasas, amoníaco, cianuro, cobre, cloro libre residual, turbidez, conductividad, cromo total, fluoruros, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto, hierro total, nitratos, nitritos, potencial hidrógeno, sólidos disueltos, sulfatos y dureza.

Del análisis realizado a las muestras de agua recolectadas, considerando los límites máximos permisibles establecidos en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020), las concentraciones de dureza, fluoruros y nitratos sobrepasan los valores máximos permisibles; mientras que no se registraron valores de concentración para aceites y grasas, cianuro y cloro libre residual, así como tampoco se registró un color aparente.

El análisis de concentración de cada uno de los parámetros físico químicos analizados se lo realizó en el laboratorio SAVEWATER, ubicado en la ciudad de Latacunga. Se utilizó metodología HACH (metodología desarrollada por HACH Company) aprobada por la Agencia de protección ambiental de Estados Unidos US EPA. Los resultados obtenidos y reportados por el laboratorio se encuentran detallados en el Anexo 3.

Del análisis de varianza aplicado a todos los valores de concentración de los parámetros físico químicos propuestos a partir del análisis de muestras de agua obtenidas de los tanques reservorios de la parroquia San Buenaventura, se pudo concluir que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de todas las muestras mencionadas para cada uno de los parámetros analizados, esto como resultado de la obtención de Valores p mayores a $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%).

Los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba *t* de student indicaron que tampoco existe diferencia significativa entre las medias de concentración de las muestras analizadas para cada uno de los parámetros propuestos como resultado de la obtención de Valores p mayores a $\alpha=0.05$ (nivel de confianza del 95%).

El análisis estadístico aplicado a los resultados de concentración obtenidos se encuentra desarrollado en el Anexo 4, así como también los valores obtenidos de la aplicación del análisis de varianza y la prueba *t* de student.

4.1.1 Amoniac

Los valores de concentración del amoniac de las muestras de agua recolectadas, se encuentran entre los valores de 0.20 mg/L y 0.48 mg/L, como se detalla en la Tabla 3, ninguna concentración sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020), sin embargo, la muestra obtenida del tanque de almacenamiento de

23000 L, en la primera semana de toma de muestras, se acerca al límite máximo establecido de 0.5 mg/L, como se indica en la Figura 2.

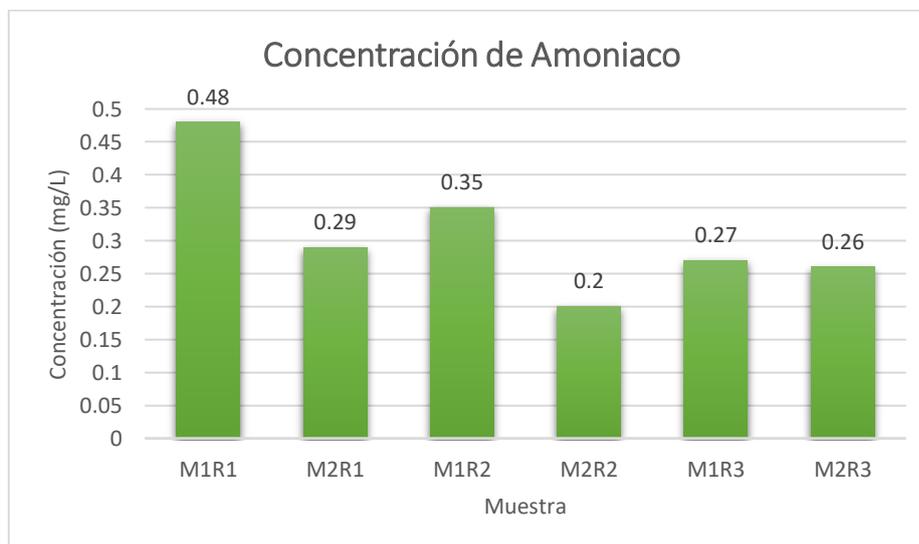
Tabla 3.

Concentración del amoníaco obtenida del análisis de agua

Muestra	Concentración de Amoníaco (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	0.48	1	1
M2R1	0.29	1	2
M1R2	0.35	2	1
M2R2	0.20	2	2
M1R3	0.27	3	1
M2R3	0.26	3	2

Figura 2.

Variación de concentración de amoníaco de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de amoníaco de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.2 Cobre

El límite máximo permisible de concentración de cobre en agua destinada al consumo humano establecido en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) es de 2.0 mg/L, ninguna de las muestras de agua analizadas posee

valores de concentración que sobrepasen dicho valor. En la Figura 3 se puede observar que los valores de concentración de cobre analizado en las muestras de agua recolectadas oscilan dentro del rango de valores de 0.020 mg/L a 0.028 mg/L. Los valores detallados se encuentran en la Tabla 4.

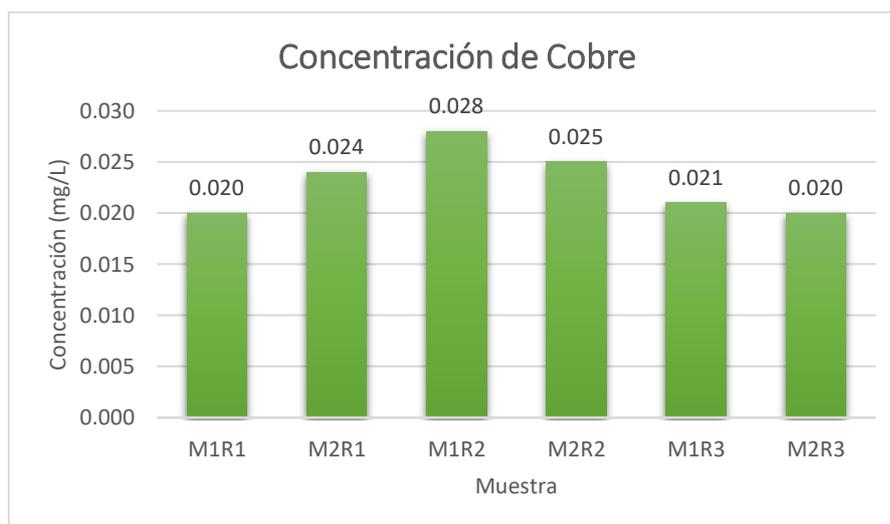
Tabla 4.

Concentración de cobre obtenida del análisis de agua

Muestra	Concentración de Cobre (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	0.020	1	1
M2R1	0.024	1	2
M1R2	0.028	2	1
M2R2	0.025	2	2
M1R3	0.021	3	1
M2R3	0.020	3	2

Figura 3.

Variación de concentración del cobre de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de cobre de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.3 Conductividad

Respecto a la conductividad, dentro de leyes, normas y reglamentos pertenecientes a la República del Ecuador, no existe un límite máximo permisible, por lo que los valores obtenidos del análisis de las muestras de agua no fueron comparados. Como se detalla en la Tabla 5 los valores de conductividad obtenidos oscilan dentro de un rango de 534.9 Us/cm a 578.6 Us/cm, mientras que en la Figura 4 se encuentran graficados dichos valores.

Tabla 5.

Conductividad obtenida del análisis de agua

Muestra	Conductividad (Us/cm)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	572.80	1	1
M2R1	534.90	1	2
M1R2	556.70	2	1
M2R2	560.80	2	2
M1R3	570.80	3	1
M2R3	578.60	3	2

Figura 4.

Variación de la conductividad de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de cobre de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.4 Cromo total

La concentración de cromo, de todas las muestras de agua obtenidas, se encuentran por debajo del límite máximo permisible establecido en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011), cuyo valor es de 0.05 mg/L. En la Figura 5 se observan los valores de concentración del cromo graficados y en la Tabla 6 se detalla el rango de concentraciones que varían entre 0.010 mg/L y 0.016 mg/L.

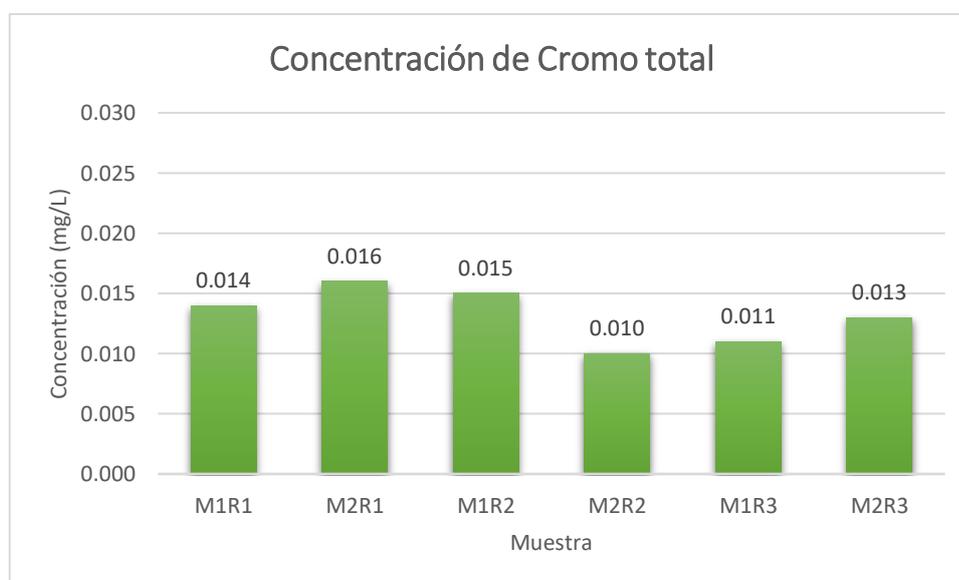
Tabla 6.

Concentración de Cromo total obtenida del análisis de agua

Muestra	Cromo total (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	0.014	1	1
M2R1	0.016	1	2
M1R2	0.015	2	1
M2R2	0.010	2	2
M1R3	0.011	3	1
M2R3	0.013	3	2

Figura 5.

Variación de concentración del cromo total de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de cromo total de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.5 Demanda química de oxígeno

Las concentraciones de la demanda química de oxígeno de cada una de las muestras de agua obtenidas se encuentran entre un rango de valores de 0.443 mg/L y 0.639 mg/L, como se detalla en la Tabla 7, dichos valores no sobrepasan el límite máximo permisible establecido por la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011), límite establecido con un valor <4 mg/L.. En la Figura 6 se puede observar la variación de concentraciones de la demanda química de oxígeno de cada una de las.

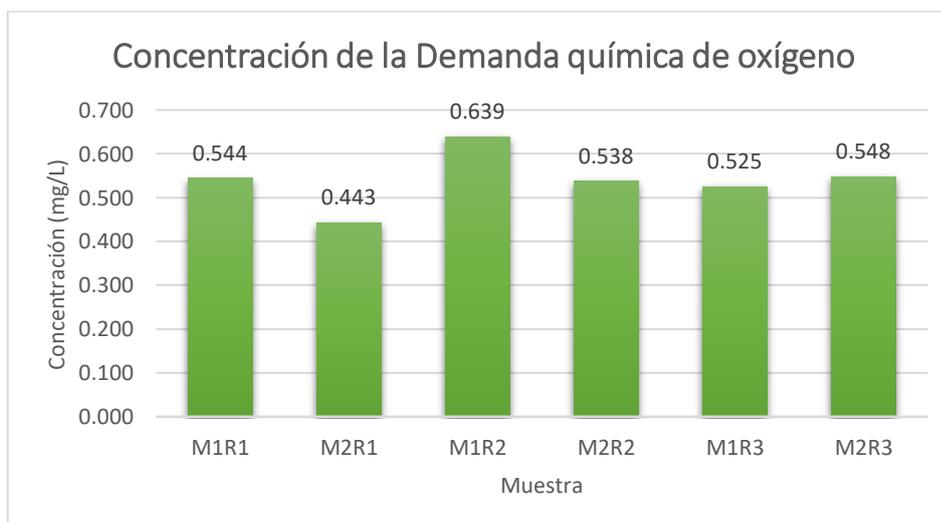
Tabla 7.

Concentración de Demanda química de oxígeno obtenida del análisis de agua

Muestra	Demanda química de oxígeno (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	0.544	1	1
M2R1	0.443	1	2
M1R2	0.639	2	1
M2R2	0.538	2	2
M1R3	0.525	3	1
M2R3	0.548	3	2

Figura 6.

Variación de concentración de la demanda química de oxígeno de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de la demanda química de oxígeno de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.6 Dureza

El límite máximo permisible de concentración de dureza establecido en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020) es de 500 mg/L, todas las concentraciones obtenidas del análisis de muestras de agua recolectadas sobrepasan dicho valor. En la Tabla 8 se detallan los valores de concentración que se encuentran dentro de un rango de 502.00 mg/L a 520.00 mg/L y en la Figura 7 se grafican dichas concentraciones.

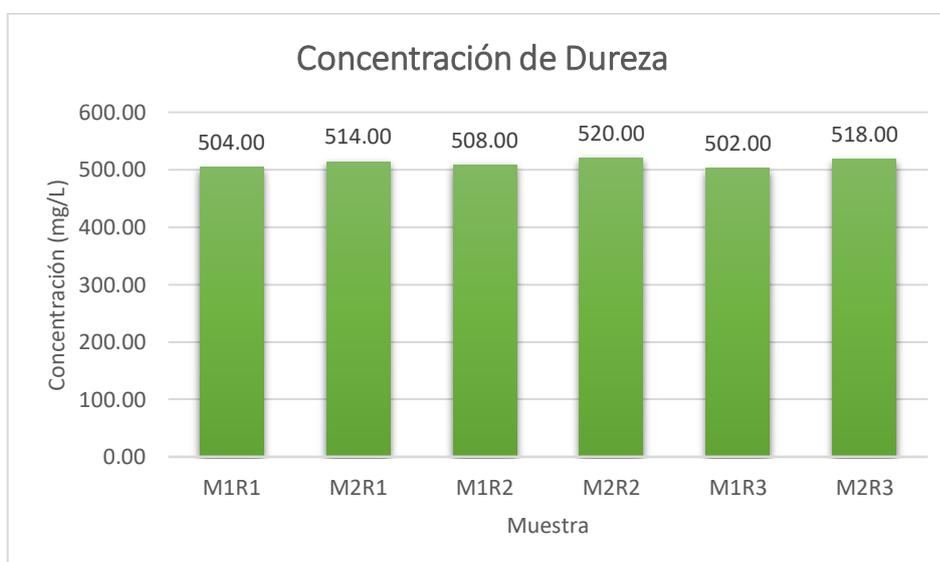
Tabla 8.

Concentración de Dureza obtenida del análisis de agua

Muestra	Dureza (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	504.00	1	1
M2R1	514.00	1	2
M1R2	508.00	2	1
M2R2	520.00	2	2
M1R3	502.00	3	1
M2R3	518.00	3	2

Figura 7.

Variación de concentración de dureza de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de dureza de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.7 Fluoruro

Otro de los parámetros que sobrepasa el límite máximo permisible establecido en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) es el fluoruro, cuyo límite máximo de concentración es de 1.5 mg/L. En la Figura 8 se puede observar que las concentraciones del fluoruro varían entre los límites de 1.56 mg/L y 1.62 mg/L, además, los valores de concentración detallados se encuentran en la Tabla 9.

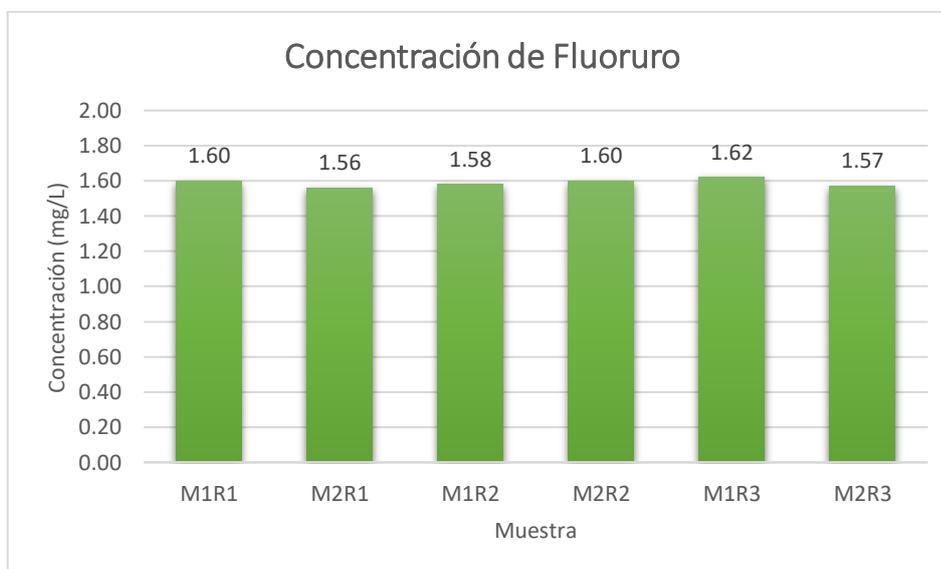
Tabla 9.

Concentración de Fluoruro obtenida del análisis de agua

Muestra	Fluoruro (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	1.60	1	1
M2R1	1.56	1	2
M1R2	1.58	2	1
M2R2	1.60	2	2
M1R3	1.62	3	1
M2R3	1.57	3	2

Figura 8.

Variación de concentración de fluoruro de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de fluoruro de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.8 Hierro total

La concentración máxima de hierro total presente en aguas para consumo humano es de 1.0 mg/L, límite establecido en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). Ninguna de las concentraciones obtenidas sobrepasa el límite máximo permisible, los valores de concentración de hierro total varían entre los límites de 0.050 mg/L y 0.053 mg/L, detallados en la Tabla 10 y graficados en la Figura 9.

Tabla 10.

Concentración de Hierro total obtenida del análisis de agua

Muestra	Hierro total (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	0.050	1	1
M2R1	0.053	1	2
M1R2	0.050	2	1
M2R2	0.052	2	2
M1R3	0.051	3	1
M2R3	0.052	3	2

Figura 9.

Variación de concentración de hierro total de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de hierro total de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.9 Nitratos

La concentración de nitratos de todas las muestras de agua obtenidas sobrepasa el límite máximo permisible establecido en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011), cuyo límite máximo es de 50 mg/L. Los valores de concentración de las muestras de agua analizadas, detallados en la Tabla 11, oscilan dentro de un rango de valores de 50.14 mg/L a 50.21 mg/L, como se observa en la Figura 10.

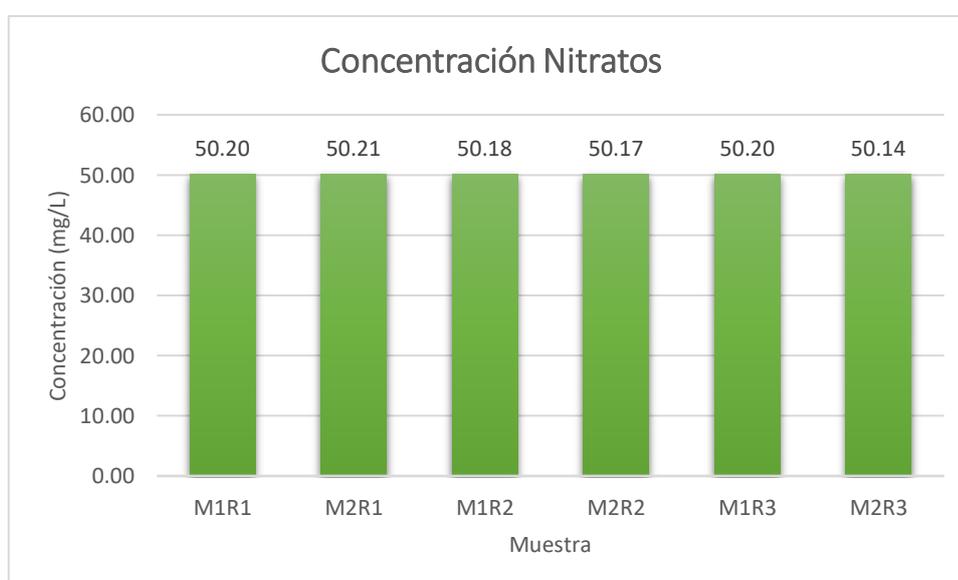
Tabla 11.

Concentración de Nitratos obtenida del análisis de agua

Muestra	Nitratos (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	50.20	1	1
M2R1	50.21	1	2
M1R2	50.18	2	1
M2R2	50.17	2	2
M1R3	50.20	3	1
M2R3	50.14	3	2

Figura 10.

Variación de concentración de nitratos de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de nitratos de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.10 Nitritos

Las concentraciones de nitritos de las muestras de agua recolectadas varían entre los valores de 0.002 mg/L y 0.005 mg/L, como se detalla en la Tabla 12. Ningún valor de concentración sobrepasa el límite máximo permisible establecido en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011), cuyo valor es de 0.2 mg/L. La variación de las concentraciones se puede observar en la Figura 11.

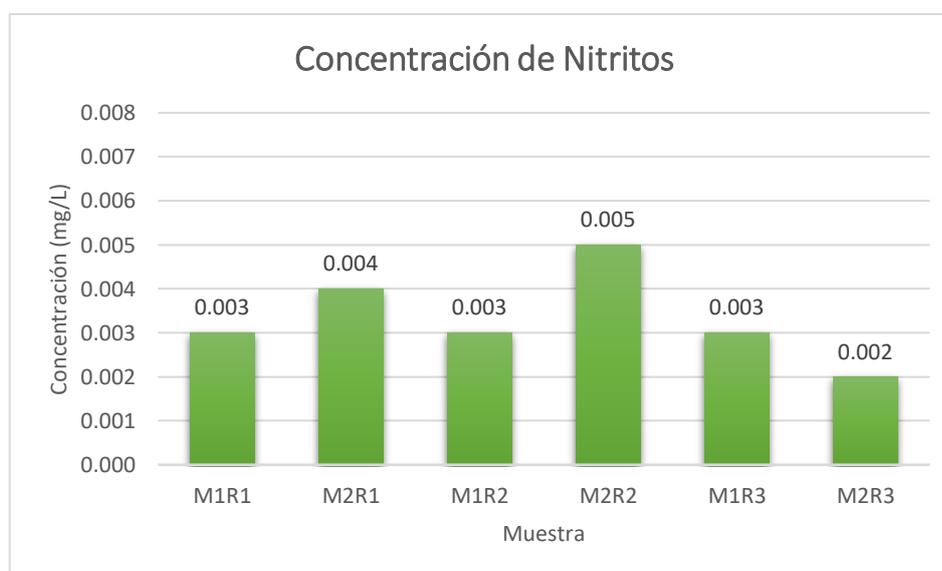
Tabla 12.

Concentración de Nitritos obtenida del análisis de agua

Muestra	Nitritos (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	0.003	1	1
M2R1	0.004	1	2
M1R2	0.003	2	1
M2R2	0.005	2	2
M1R3	0.003	3	1
M2R3	0.002	3	2

Figura 11.

Variación de concentración de nitritos de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de nitritos de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.11 Oxígeno disuelto

El límite máximo permisible de oxígeno disuelto en agua para consumo humano establecido en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020) es no menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/L. Ninguna de las concentraciones obtenidas incumple con el límite mencionado. En la Figura 12 se grafica las variaciones de concentración de oxígeno disuelto, siendo el valor mínimo registrado de 6.178 mg/L, mientras que el valor máximo registrado fue de 6.923 mg/L, los valores detallados se encuentran en la Tabla 13.

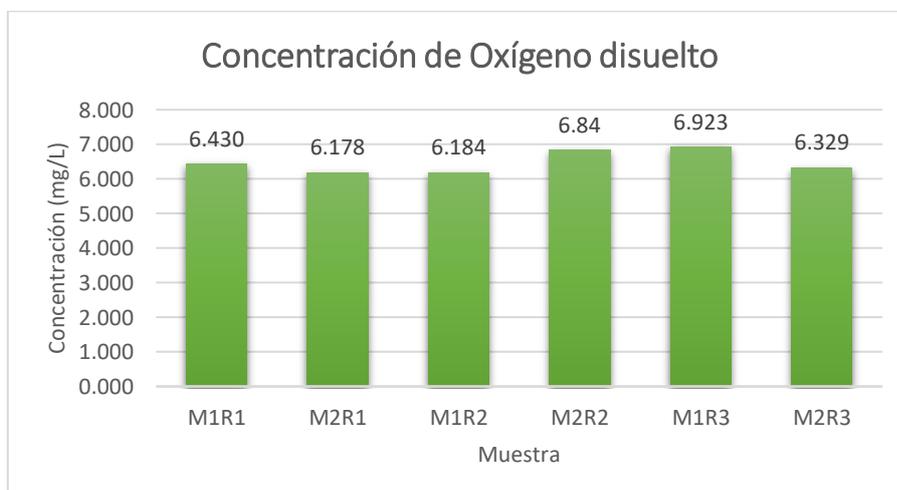
Tabla 13.

Concentración de Oxígeno disuelto obtenida del análisis de agua

Muestra	Nitritos (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	6.430	1	1
M2R1	6.178	1	2
M1R2	6.184	2	1
M2R2	6.84	2	2
M1R3	6.923	3	1
M2R3	6.329	3	2

Figura 12.

Variación de concentración de oxígeno disuelto de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de oxígeno disuelto de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.12 Potencial hidrógeno (pH)

En la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) se establece como límites superior e inferior de potencial de hidrógeno o pH los valores de 9 y 6 respectivamente. Los valores de pH obtenidos del análisis de muestras de agua recolectadas se encuentran dentro del rango mencionado, como se detalla en la Tabla 14, sus valores varían entre 6.954 y 7.492, como se indica en la Figura 13.

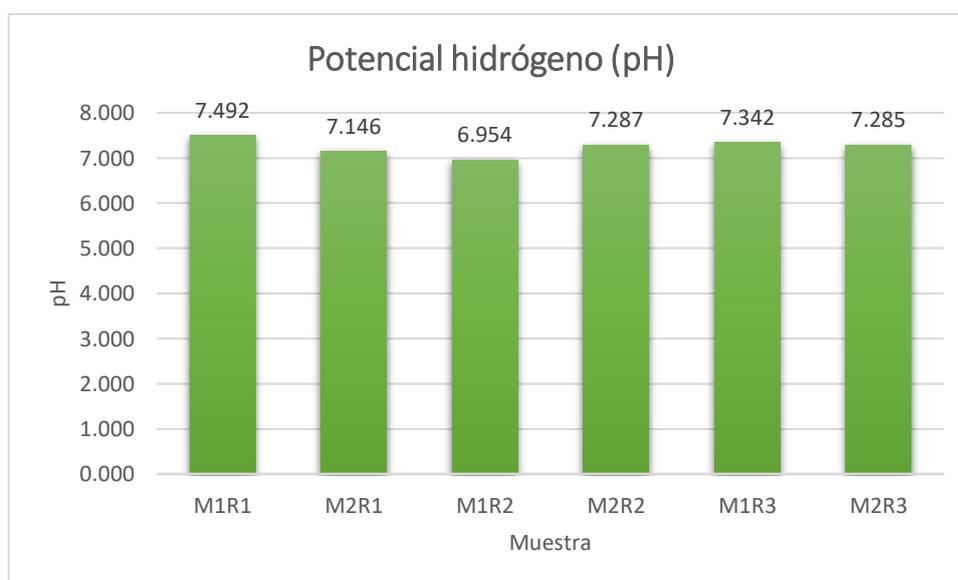
Tabla 14.

Potencial hidrógeno obtenida del análisis de agua

Muestra	Potencial hidrógeno pH	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	7.492	1	1
M2R1	7.146	1	2
M1R2	6.954	2	1
M2R2	7.287	2	2
M1R3	7.342	3	1
M2R3	7.285	3	2

Figura 13.

Variación de potencial hidrógeno de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene el potencial hidrógeno de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.13 Sólidos disueltos

Los valores de concentración de sólidos disueltos registrados a partir del análisis de las muestras de agua recolectadas varían dentro de un rango de 265.3 mg/L y 280.4 mg/L, como se detalla en la Tabla 15 y se observa en la Figura 14. El límite máximo permisible de concentración de sólidos disueltos establecido por la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020) es de 1000 mg/L, ninguna de las concentraciones obtenidas sobrepasan el límite mencionado.

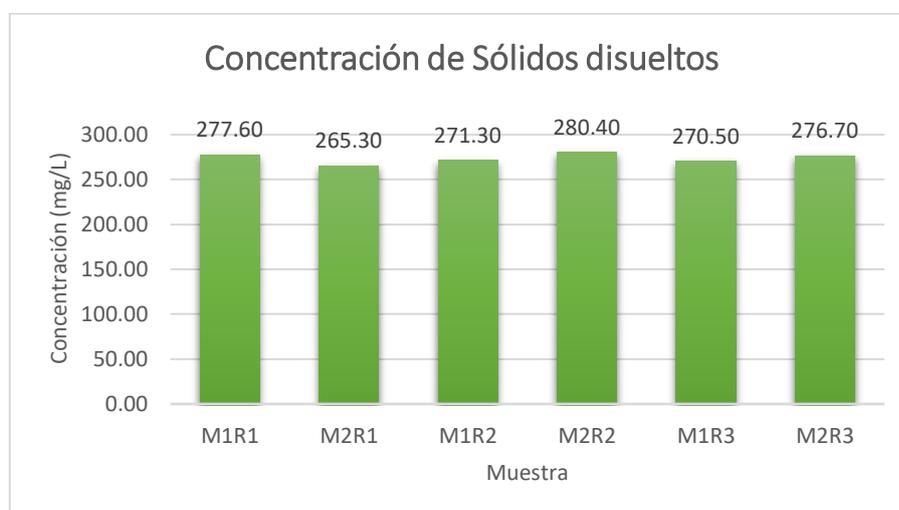
Tabla 15.

Concentración de Sólidos disueltos obtenida del análisis de agua

Muestra	Sólidos disueltos (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	277.60	1	1
M2R1	265.30	1	2
M1R2	271.30	2	1
M2R2	280.40	2	2
M1R3	270.50	3	1
M2R3	276.70	3	2

Figura 14.

Variación de concentración de sólidos disueltos de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de sólidos disueltos de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.1.14 Sulfatos

Ninguna de las concentraciones de sulfatos obtenidas al partir del análisis de las muestras de agua recolectadas sobrepasa el límite máximo permisible establecido en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020), cuyo valor es de 400 mg/L. En la Figura 15 se puede observar que los valores de la concentración mencionada varían dentro del rango de 30.150 mg/L a 30.670 mg/L y los valores se detallan en la Tabla 16.

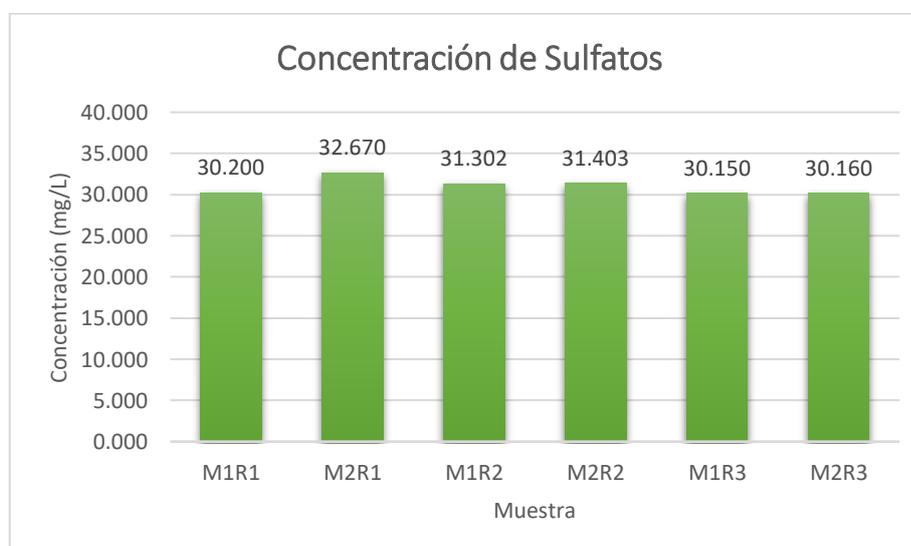
Tabla 16.

Concentración de Sulfatos obtenida del análisis de agua

Muestra	Sulfatos (mg/L)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	30.200	1	1
M2R1	32.670	1	2
M1R2	31.302	2	1
M2R2	31.403	2	2
M1R3	30.150	3	1
M2R3	30.160	3	2

Figura 15.

Variación de concentración de sulfatos de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene las concentraciones de sulfatos de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

1.1.15 Turbiedad

Respecto a la turbiedad, la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) señala como límite máximo permisible el valor de 5 NTU. El rango de valores de turbiedad de las muestras de agua analizadas se encuentra entre 0.178 NTU y 0.186 NTU, valores detallados en la Tabla 17, por lo que ninguna muestra de agua sobrepasa el límite máximo establecido. La fluctuación de concentraciones de cada una de las muestras de agua analizadas se muestra en la Figura 16.

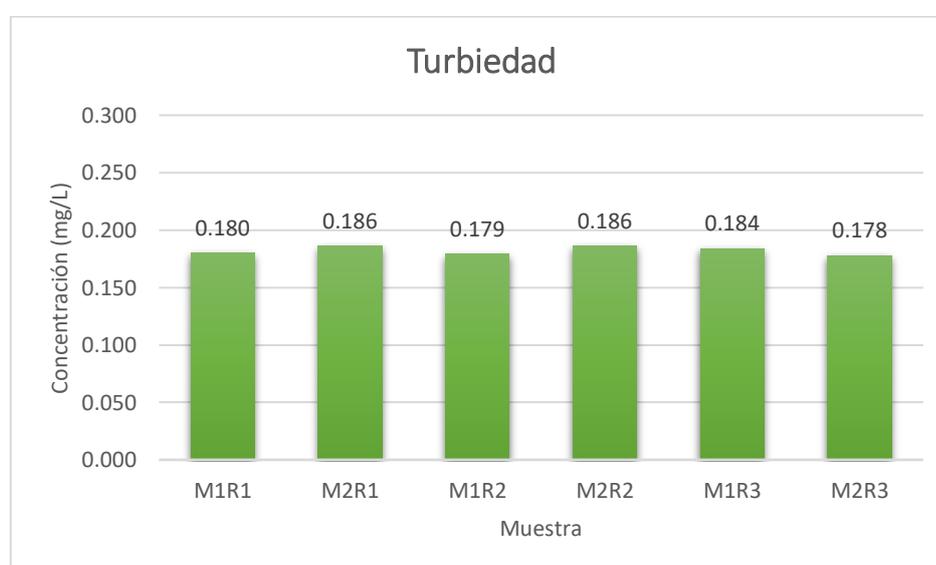
Tabla 17.

Turbiedad obtenida del análisis de agua

Muestra	Turbiedad (NTU)	Tanque de almacenamiento	Día de obtención de la muestra
M1R1	0.180	1	1
M2R1	0.186	1	2
M1R2	0.179	2	1
M2R2	0.186	2	2
M1R3	0.184	3	1
M2R3	0.178	3	2

Figura 16.

Variación turbiedad de las muestras de agua analizadas



Nota: La gráfica contiene los valores de turbiedad de las muestras de agua recolectadas durante dos semanas con 7 días de diferencia.

4.2 Propuesta de diseño de la planta de tratamiento de agua destinada al consumo humano en la parroquia San Buena Ventura.

A partir del análisis de los parámetros físicos químicos propuestos y el análisis estadístico aplicado a los valores de concentración obtenidos, se determinó que las concentraciones de fluoruros, dureza y nitratos sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020); por lo que el diseño propuesto en el presente proyecto de investigación tiene como objetivo disminuir dichos valores de concentración para cumplir con los requisitos establecidos que se consideran para calificar al agua como agua potable y que de esta manera pueda ser distribuida a la población.

El diseño de planta de tratamiento para agua de consumo humano propuesto comprende un tanque madre, con la capacidad de recolectar el agua de los tanques reservorios de 23000 L, 16000 L, y 10000 L, para posteriormente pasar a las seis etapas de tratamiento.

4.2.1 Tanque de almacenamiento madre

Debido a que el agua distribuida entre la población de la parroquia San Buenaventura es obtenida de 16 fuentes naturales y almacenadas en tres tanques reservorios, es necesario la implementación de un tanque de almacenamiento madre que sea capaz de recolectar el agua de los tanques reservorios, en este caso se considerará un caudal diario a ser tratado de 20 m³/día.

El tanque de almacenamiento madre deberá estar ubicado con un ligero desnivel con respecto a la torre de aireación, tener una salida de agua superior y de esta manera aprovechar el efecto de la gravedad para la primera etapa.

4.2.2 Primera etapa: Sistema de aireación.

El sistema de aeración es utilizado, principalmente, para la oxidación de hierro y manganeso, también se pueden remover ciertos gases y sustancias volátiles. El proceso se lleva a cabo en el momento que el agua entra en contacto con el aire. Tomando en cuenta los valores de conductividad obtenidos se puede presumir la presencia de diversas sales, entre ellas sales de hierro.

La torre de aeración de bandejas múltiples comprenderá una serie de bandejas con ranuras que utilizan la fuerza de gravedad para permitir la caída libre del agua y producir un tiempo de exposición entre el agua y el aire.

Considerando la Norma NTE INEN 2655:2012 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) y el caudal diario a ser tratado de 20 m³/día, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros establecidos para el diseño de la torre de aeración.

- Altura total de la torre: 2 m
- Número de bandejas (n): 3
- Carga hidráulica (CH): 500 m³/m²*día
- Separación entre bandejas: 0.30 m
- Profundidad del agua en la bandeja: 0.15 m
- Lecho de contacto: 0.15 cm
- Diámetro de orificios: 0.10 cm.

A partir de los parámetros establecidos se calculó del área de las bandejas de la torre de aeración.

Área total de las bandejas de la torre de aeración (A_t)

$$A_t = \frac{Q_d}{CH} = \frac{20 \text{ m}^3/\text{día}}{500 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{día}} = 0.04 \text{ m}^2$$

Área de cada una de las bandejas de la torre de aeración (A_b)

$$A_b = \frac{A_t}{n} = \frac{0.04 \text{ m}^2}{3} = \mathbf{0.013 \text{ m}^2}$$

La estructura de la torre debe de ser hierro recubierto de pintura permeable grado alimenticio, mientras que las bandejas serán de acero inoxidable grado alimenticio, con una altura total de 2 m, una superficie de bandeja de 0.013 m² y los parámetros ya mencionados.

El agua proveniente del tanque madre ingresará a la torre de aeración por la parte superior de la misma, con una caída en forma de ducha sobre la primera bandeja, una vez que el agua atraviese la torre de aeración ingresará a la segunda etapa.

4.2.3 Segunda etapa: Tratamiento químico

El tratamiento químico se lleva a cabo en una canaleta o vertedero, usado como mezclador rápido, cuyo objetivo es la dispersión homogénea del coagulante en toda el agua contenida proveniente de la primera etapa.

El agua proveniente de la torre de aireación ingresará por la parte inferior de la canaleta, para el presente diseño se tomó en cuenta el tipo de canaleta Marshall, en donde se producirá un proceso de coagulación. A la entrada de la canaleta mediante una bomba de dosificación, se administrará policloruro al 10%, el flujo por segundo a ser suministrado debe ser calculado mediante ensayo de jarras.

El agua acumulada y mezclada de manera rápida con el policloruro en la canaleta, para la formación de coágulos, saldrá por la parte superior de la canaleta para ingresar a la tercera etapa.

4.2.4 Tercera etapa: Floculador

La etapa de floculación comprende un tanque que contiene pantallas dispuestas de tal manera que el agua pueda hacer un recorrido de ida y vuelta, además de pasar por encima y debajo de las pantallas, con el fin de formar coágulos más grandes.

El floculador propuesto comprende un tanque con una altura de 1.4 m, 2.4 m de ancho y 42 pantallas o placas con 1.5 veces de espaciamiento entre pantallas.

El diseño del floculador permitirá que el agua proveniente de la segunda etapa permanezca en la tercera etapa por un rango de tiempo de 20 min a 25 min. Durante este tiempo los coágulos generados en la segunda etapa se unirán entre sí formando flóculos de gran tamaño y podrán ser removidos de manera manual con un filtro removible (Chavarro Rodríguez, 2014).

El agua obtenida del proceso de floculación saldrá por la parte inferior del tanque de floculación para ingresar a la cuarta etapa.

4.2.5 Cuarta etapa: Sedimentador

El sedimentador tiene como objetivo eliminar los flóculos formados en la segunda y tercera etapa. La eliminación se da mediante la implementación de filtros lamelares.

El agua proveniente de la tercera etapa ingresará por la parte inferior al sedimentador, será distribuida de forma uniforme en el tanque sedimentador y el nivel de agua también subirá de forma uniforme. En el momento que el nivel de agua sube, atraviesa los filtros lamelares o filtros de panal de abejas atrapando los flóculos, que posteriormente sedimentan en el fondo del tanque. El agua de la parte superior del tanque es recolectada a través de dos canaletas que conducen a dicha agua hacia la quinta etapa.

El tanque de sedimentación tendrá una profundidad de 1.15 m, un ancho de 2.4 m y una longitud de 1 m, los filtros lamelares son ubicados en la mitad de la altura total,

mientras que las canaletas de recolección tendrán 0.08 m de ancho y profundidad, serán ubicadas a $\frac{3}{4}$ de la altura total, tomando como referencia el nivel del piso. De esta manera el agua proveniente de la tercera etapa tiene un tiempo de detención de 10 min a 15 min (Chavarro Rodríguez, 2014). El agua recolectada por la canaleta saldrá por la parte superior del tanque de sedimentación para ingresar a la quinta etapa.

4.2.6 Quinta etapa: Filtración

La etapa de filtración tiene por objeto remover las partículas que no pudieron ser removidas en las etapas de floculación y sedimentación, mediante la utilización de lechos de medios porosos.

El tanque de filtración tiene una profundidad de 0.9 m, se encontrará relleno con 50% de la altura total de grava de 5 ml, 20% de la altura total de carbón activado y 30% del total de la altura de arena zeolita.

El agua proveniente de la cuarta etapa ingresará por la parte superior al tanque de filtración, la masa de agua atraviesa los medios porosos, logrando así una filtración lenta, saldrá por la parte inferior del tanque, donde parte del flujo de agua resultante será dirigido a la sexta etapa, mientras que la otra parte será recirculada a la tercera etapa mediante la utilización de una bomba en la base del tanque de floculación.

4.2.7 Sexta etapa: Desinfección

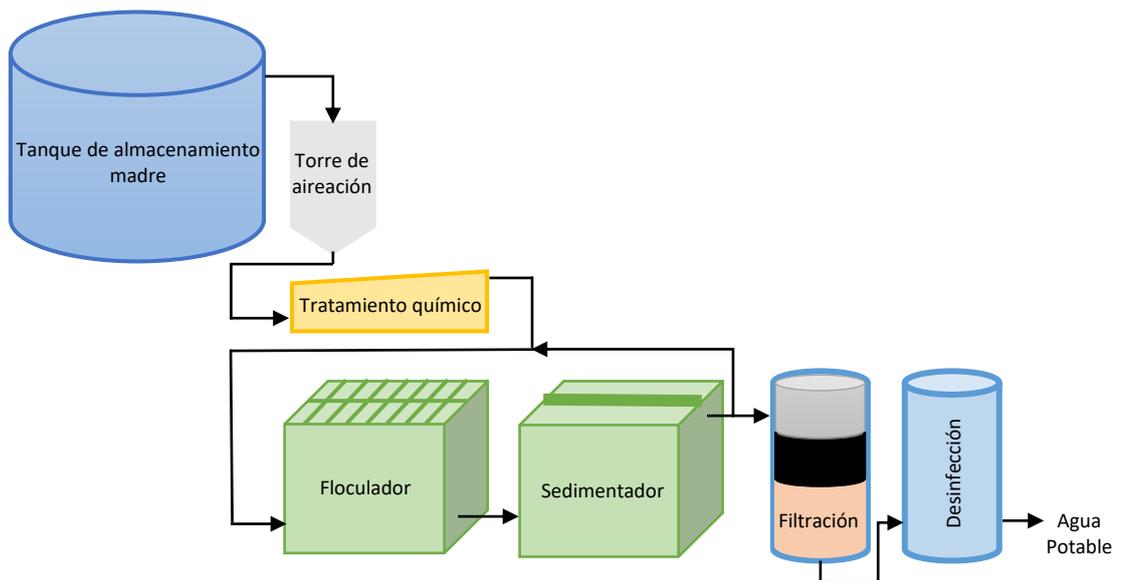
La etapa de desinfección se la realiza mediante la utilización de cloro. La dosificación de cloro se calcula mediante el ensayo de jarras.

El agua proveniente de la quinta etapa ingresará por la parte inferior al tanque de desinfección, el mismo que contendrá una bomba dosificadora de hipoclorito de calcio al 70%, la dosificación no deberá sobrepasar el límite máximo de 1.5 mg/L. El agua obtenida

del proceso de desinfección podrá ser distribuida para el consumo doméstico. El tanque de desinfección puede ser construido para una capacidad de 30 m³.

En la Figura 17 se observa un esquema simplificado sobre la planta de tratamiento de agua propuesta, que permite visualizar cada una de las etapas descritas.

Figura 17. Diagrama de las etapas que comprenden el sistema de tratamiento de agua



Nota: El esquema presentado se lo realizó de forma didáctica con el fin de visualizar cada una de las etapas comprendidas por el sistema de tratamiento de agua.

4.3 Análisis del diseño propuesto

El diseño propuesto tiene por objetivo disminuir las concentraciones de fluoruros, dureza y nitratos; concentraciones que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020), además de disminuir los valores de conductividad.

Dentro del diseño propuesto, la primera etapa será capaz de eliminar el exceso de concentración de sales de hierro y manganeso, mediante un proceso de oxidación, además de eliminar sustancias volátiles, de esta manera los valores de conductividad registrados disminuirán.

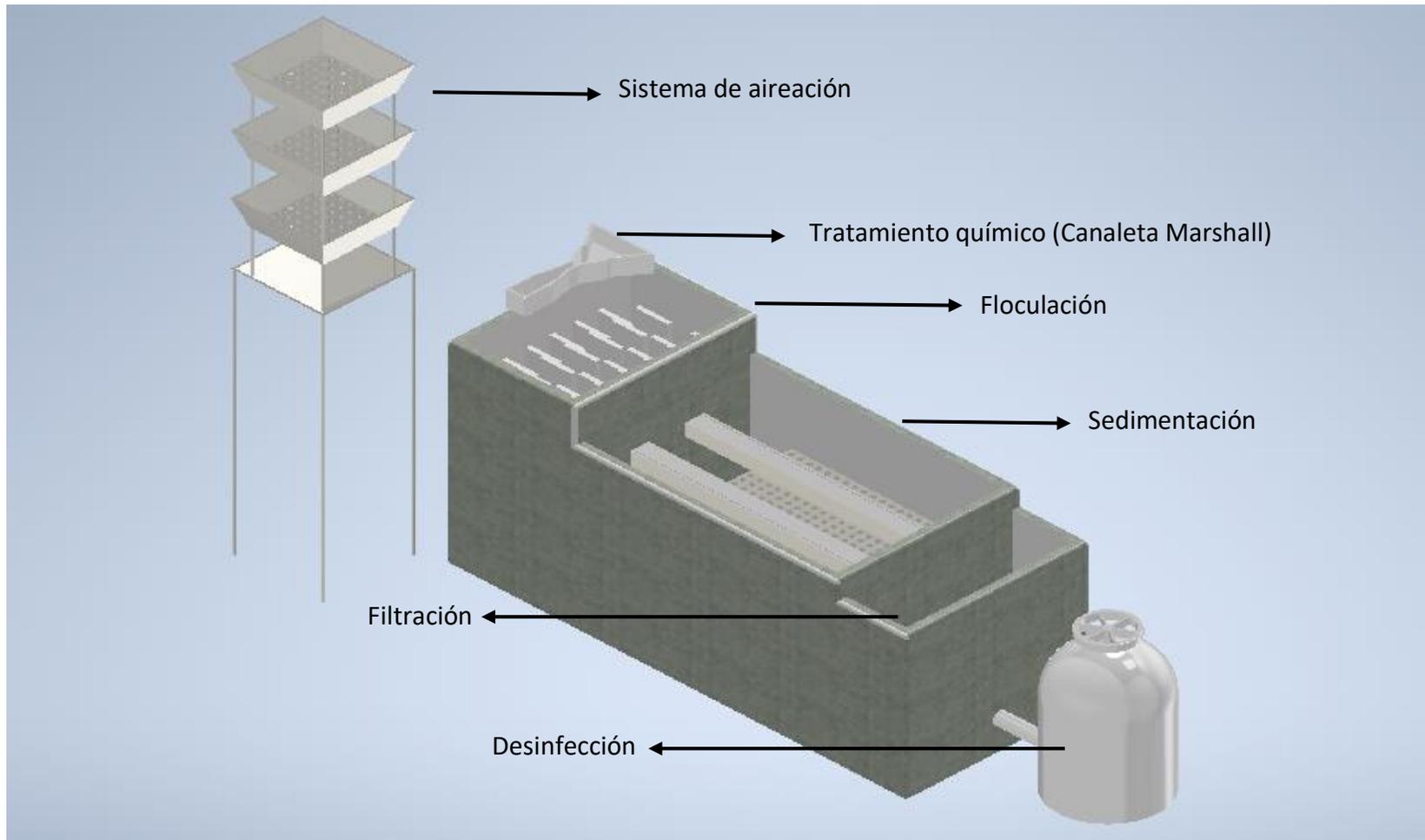
Las concentraciones de fluoruros, dureza y nitratos serán eliminadas en la segunda, tercera, cuarta y quinta etapa. Los iones de cada una de las concentraciones quedarán atrapados en los flóculos formados en la segunda etapa, los flóculos de mayor tamaño se eliminarán en la tercera etapa, los flóculos de menor tamaño se eliminarán en la cuarta etapa y en la quinta etapa se eliminarán partículas y flóculos que no pudieron ser eliminadas en las etapas pasadas.

La sexta etapa se implementó con el fin de eliminar los posibles contaminantes biológicos propios de zonas agrícolas y ganaderas, como los es la parroquia San Buenaventura, como coliformes totales y escherichia coli.

Una vez que el agua sea sometida a los procesos comprendidos en sistema de tratamiento de agua planteado podrá ser considerada como agua potable y distribuida a la población.

En la Figura 18 se observa el diseño real de la planta de tratamiento de agua propuesta, tomando en cuenta la descripción de cada una de las etapas planteadas. El diseño se lo realizó con ayuda del software INVENTOR.

Figura 18. *Diseño de la planta de tratamiento de agua propuesto*



Nota: El diseño presentado se elaboró con ayuda del software INVENTOR, representa una simulación real del diseño propuesto para la planta de tratamiento de agua de la parroquia San Buenaventura.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El análisis físico químico realizado a las muestras de agua permitió concluir que el agua distribuida en la parroquia San Buenaventura no presenta un color aparente y no registra la presencia de aceites y grasas; así como tampoco se detectó concentraciones de cianuro y cloro libre residual; mientras que las concentraciones de los otros parámetros son diferentes para cada tanque de almacenamiento muestreado.
- Considerando los límites máximos permisibles establecidos en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) y en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua (Presidencia de la República del Ecuador, 2020), se concluyó que el agua distribuida en la parroquia San Buenaventura contiene concentraciones de fluoruros, dureza y nitratos que sobrepasan límites establecidos.
- La alta concentración de nitratos registrada del análisis de cada una de las muestras de agua indica la presencia de amoníaco, esto debido a la rápida oxidación bacteriana del amoníaco, el mismo reacciona con oxígeno para formar nitritos y en una posterior oxidación forma nitratos, razón por la cual los nitrados son las moléculas más estables y cuantificables. Dicha concentración la podemos relacionar con la actividad ganadera de la zona, el agua al ser obtenida de diferentes ojos de agua recorre trayectos superficiales y los compuestos químicos producto de los procesos biológicos pueden ser transportados a través del suelo hasta llegar a las vertientes de agua.
- El análisis de varianza aplicado a los valores de concentración de los parámetros físico químicos evaluados concluyó que no existe diferencia significativa en ninguna de las concentraciones de los parámetros físico químicos propuestos de las muestras

de agua recolectadas en los tres tanques reservorios de la parroquia San Buenaventura.

- La prueba *t* de student aplicada a los datos obtenidos a partir del análisis de concentración de los parámetros físico químicos propuestos concluyeron que no existe diferencia significativa en ninguno de los valores de la media de concentración de los parámetros mencionados.
- La planta de tratamiento de agua para consumo humano propuesta fue diseñada con los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 2655:2012 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) y tomando en cuenta el consumo diario de agua por parte de la población de la parroquia San Buenaventura.
- El diseño de la planta de tratamiento de agua propuesto permitirá eliminar las concentraciones en exceso de fluoruros, dureza y nitratos, de esta manera se cumplirá con los parámetros establecidos en la Norma NTE INEN 1108:2014 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) respecto a los criterios de agua potable. Una vez tratada el agua proveniente de las fuentes naturales se la podrá catalogar como agua potable o agua de consumo humano.
- La planta de tratamiento de agua propuesta además de considerar los valores de concentración que sobrepasan los límites máximos permisibles considera la posible contaminación biológica y presencia de sales minerales, por lo que el diseño es capaz de eliminar contaminantes físicos, químicos y biológicos.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda hacer un análisis bacteriológico con el fin de obtener un estudio completo de la calidad del agua que está siendo consumida por la población de la parroquia San Buenaventura.

- Una vez construida la planta de tratamiento de aguas se recomienda realizar estudios periódicos del agua obtenida del proceso de purificación, como parte de un control de calidad.
- El estudio de muestras de suelo, vegetación y agua de la zona agrícola y ganadera de la parroquia San Buenaventura permitirá conocer si existe contaminación en zona debido a las actividades antropogénicas del sector, con el fin de implementar un sistema completo de transporte de agua desde las fuentes de obtención hasta los reservorios de agua de la parroquia San Buenaventura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bofill, S., Clemente, P., Albiñana, N., Maluquer de Motes, C., Hundesa, A., & Girones, R.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUA Y ALIMENTOS POR VIRUS EMERGENTES HUMANOS, 2 Revista Española Salud Pública § (2005). Barcelona, España.

Castro, L., & Cardenas, C. (2014). DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE : CASO DE SANTANDER, (June 2018).

Chavarro Rodríguez, D. A. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable de 2 lts/s para una poblacion de 750 habitantes.*

Chulluncuy Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. 29, 153–170.

Consejo Nacional de Planificación. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 “Toda una Vida.” *Senplades*, 1–148. Retrieved from http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_OK.compressed1.pdf

Fernández, A. (2012, December 3). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, pp. 147–170. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Hach Company. Fluoride Method 8029 (2000).

Hach Company. pH method 10076 (2003).

Hach Company. Turbidity Absorptometric Method 8237 (2013).

Hach Company. Chlorine , Free DPD Method 10069, 2 § (2014).

Hach Company. Iron Ferro Zine Method 8147 (2014).

Hach Company. Oxygen , Dissolved HRDO Method 8166, 2 § (2014).

Hach Company. Oxygen Demand , Chemical USEPA Reactor Digestion Method 8000 (2014).

Hach Company. Suspended Solids Photometric Method 8006 (2014).

Hach Company. Nitrite Diazotization Method 10019 (2015).

Hach Company. Oil and Grease USEPA Hexane Extractable Gravimetric Method 10056
(2015).

Hach Company. Nitrogen , Ammonia USEPA1 Nessler Method 8038 (2017).

Hach Company. Chromium , Hexavalent USEPA 1,5-Diphenylcarbohydrazide Method 8023
(2019).

Hach Company. Conductivity USEPA Direct Measurement Method 8160 (2019).

Hach Company. Hardness , Calcium Method with EDTA 8204 (2019).

Hach Company. Nitrate Cadmium Reduction Method 8192 (2019).

Hach Company. Sulfate USEPA SulfaVer 4 Method 8051 (2019).

Hach Company. Copper USEPA approved for reporting wastewater analysis Method 8506,
491 § (2020).

Hach Company. Cyanide Pyridine-Pyrazalone Method 8027, 19 § (2020).

Hidalgo, C., & Osorio, E. (2013). *Hidalgo, C. O. (2013). Evaluación y determinación de la capacidad secuestrante de los metales pesados Cromo (Cr) y Cadmio (Cd) por taxas de mohos aisladas de los alrededores de los ríos Cutuchi y Machángara*. Salesiana.

Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6006/1/UPS-QT03736.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. NTE INEN 1108: Agua potable. Requisitos, 2 §

(2011). Retrieved from

<https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/ASH01a4.dir/doc.pdf>

Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. NTE INEN 2655:2012. Implementación de plantas potabilizadoras prefabricadas en sistemas públicos de agua potable., 2655 § (2012).

Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. NTE INEN 2169 : 2013. Agua. Calidad de agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. (2013).

Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC. (2020). *Gestión de Agua Potable y Saneamiento*.

Jiménez Morales, S. (2012). *ESTUDIO TEÓRICO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN POR GRASAS Y ACEITES GENERADA POR LA ACTIVIDAD INDUSTRIAL , DOMÉSTICA Y DE SERVICIOS*. Instituto Politécnico Nacional.

Marcos, F. (2005). LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL COMO FACTOR DETERMINANTE DE LA SALUD. *Vol 79, Num.2*, 117–127. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17079201>

Organización de las Naciones Unidas. (2015). El agua, fuente de vida [2005–2015], *1(32950—DPI/2378)*, 20.

Organización Mundial de la Salud, O. (2020). Guías para la calidad del agua potable. *Biblioteca de La OMS, 1*, 408. Retrieved from https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq3/es/

Presidencia de la República del Ecuador. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA (2020). Ecuador.

Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la

demanda bioquímica de oxígeno. *Vol 17, Num 1*, 71–80.

Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano, *17(1)*, 29–48.

Sanchez, P. (2016). *Plan De Desarrollo Del Cantón Latacunga 2016-2028*.

Zhen Wu, B. Y. (2009). *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008*. UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA.

ANEXOS