



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,  
VINCULACIÓN Y POSGRADO**

**DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL CON MENCIÓN EN  
RECURSOS HÍDRICOS**

**TEMA:**

**“PREDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS  
RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DE COLUMBE, CANTÓN COLTA”**

**AUTOR:**

Ing. Dennys Fabricio Lata Azacata

**TUTOR:**

PhD. José Gregorio Prato Moreno

**Riobamba – Ecuador**

2025

## Certificación del Tutor

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: **“Prediseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales en la comunidad de Columbe, cantón Colta.”**, ha sido elaborado por el Ingeniero Dennys Fabricio Lata Azacata, el mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta antiplagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Riobamba, 10 de marzo de 2025



---

PhD. José Gregorio Prato Moreno

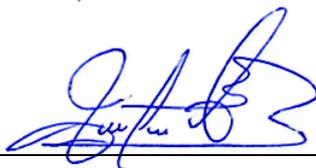
**TUTOR**

## **Declaración de Autoría y Cesión de Derechos**

Yo, **Dennys Fabricio Lata Azacata**, con número único de identificación **060421297-7**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “Prediseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales en la comunidad de Columbe, cantón Colta.” previo a la obtención del grado de Magíster en Ingeniería Ambiental con mención en Recursos Hídricos.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 10 de marzo de 2025



---

**Ing. Dennys Fabricio Lata A.**

N.U.I. 060421297-7

## **Agradecimiento**

Con gratitud, deseo expresar mi agradecimiento a la Fundación World Vision, por el respaldo incondicional brindado en cada etapa de esta investigación. Su apoyo fue fundamental para hacer realidad este proyecto y superar los desafíos que surgieron en el camino.

Agradezco también a los directivos y colaboradores de la Unidad Educativa “Hualcopo Duchicela” por abrir sus puertas con generosidad, facilitándonos recursos y permitiendo que este trabajo se llevara a cabo de manera eficiente. Su disposición y compromiso fueron piezas clave para alcanzar los objetivos planteados.

De manera especial, extiendo mi sincero agradecimiento al PhD. José Prato, tutor de esta investigación, cuya guía experta, paciencia y observaciones enriquecedoras marcaron el rumbo hacia la culminación exitosa de este trabajo. Su dedicación y constante motivación fueron una fuente de inspiración a lo largo de este proceso.

Finalmente, a cada una de las personas que de alguna forma contribuyeron, mi respeto, aprecio y gratitud infinita. Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo que no habría sido posible sin su colaboración, confianza y apoyo desinteresado.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres, Luis y Mercedes, cuyo amor incondicional, ejemplo y sabiduría han sido mi mayor fortaleza y la inspiración que me ha impulsado a alcanzar este logro. También lo dedico a quienes ya no están conmigo, pero cuyo cariño, valores y enseñanzas continúan guiando mi camino y viviendo en mi corazón. A ustedes, que siempre han creído en mí, este logro también les pertenece.

A mis amigos/as, mi más sincero agradecimiento por estar presentes en los momentos más difíciles, por su apoyo constante y por recordarme la importancia de perseverar. Gracias por ser esa fuente inagotable de ánimo y alegría, por las conversaciones llenas de risas, los consejos genuinos y por demostrarme, una y otra vez, que la verdadera amistad trasciende cualquier distancia. Su compañía ha hecho de este recorrido una experiencia más llevadera y memorable.

A mis colegas de estudio, con quienes compartí no solo retos y aprendizajes, sino también momentos de compañerismo y la satisfacción de superar juntos cada obstáculo. Este esfuerzo es, en parte, el reflejo del espíritu colectivo y el trabajo en equipo que nos unió a lo largo de este camino.

Con sincero cariño y afecto, quiero dedicar este trabajo a cada uno de ustedes, quienes han sido fundamentales en este logro y en mi desarrollo tanto personal como académico.

Dennys Fabricio Lata Azacata

## Índice General

<b>Certificación del Tutor</b> .....	<b>ii</b>
<b>Declaración de Autoría y Cesión de Derechos</b> .....	<b>iii</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice General</b> .....	<b>vi</b>
Índice de Tablas .....	ix
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>3</b>
<b>Capítulo 1 Generalidades</b> .....	<b>4</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	4
1.2 Justificación de la investigación .....	5
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1 Objetivo general .....	6
1.3.2 Objetivos específicos .....	6
<b>Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica</b> .....	<b>7</b>
2.1 Fundamentación legal .....	7
2.2 Fundamentación teórica .....	8
2.2.1 Importancia del agua .....	8
2.2.2 Calidad del agua .....	8
2.2.3 Contaminación ambiental .....	9
2.2.4 Contaminación del agua .....	9
2.2.5 Aguas residuales .....	10

2.2.6	Aguas residuales domésticas .....	10
2.2.7	Pretratamiento de aguas residuales.....	11
2.2.8	Tratamiento de aguas residuales.....	12
2.2.9	Tratamientos anaeróbicos .....	12
2.2.10	Tratamientos aeróbicos.....	13
2.2.11	Post tratamientos.....	14
<b>Capítulo 3 Diseño Metodológico.....</b>		<b>15</b>
3.1	Enfoque de la investigación.....	15
3.2	Diseño de la investigación.....	15
3.3	Área de estudio .....	16
3.4	Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos .....	17
3.4.1	Análisis bibliográfico .....	17
3.4.2	Entrevistas .....	17
3.4.3	Muestreo simple .....	17
3.4.4	Recolección directa.....	18
3.4.5	Transporte y almacenamiento.....	18
3.5	Recolección de datos para análisis en laboratorio .....	18
3.5.1	Condiciones de recolección para las muestras .....	18
3.5.2	Caracterización de aguas residuales y parámetros analizados.....	18
3.6	Selección y diseño del sistema de tratamiento .....	20
3.6.1	Criterios de selección para el tratamiento primario.....	20
3.6.2	Criterios de selección para el tratamiento secundario .....	21
3.6.3	Criterios de selección para el tratamiento terciario .....	22
3.6.4	Selección basada en factores ponderados del tratamiento secundario .....	23
3.6.5	Cálculo poblacional y margen de diseño futuro .....	24

3.6.6	Prediseño del sistema de tratamiento.....	25
3.7	Rendimientos teóricos del tratamiento .....	29
3.7.1	Tanque séptico.....	29
3.7.2	Tanque Imhoff.....	30
<b>Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados .....</b>		<b>32</b>
4.1	Punto de muestreo .....	32
4.2	Caracterización de las aguas residuales.....	33
4.3	Elección de la tecnología de tratamiento.....	35
4.3.1	Tratamiento primario.....	35
4.3.2	Tratamiento secundario .....	36
4.3.3	Tratamiento terciario .....	37
4.4	Proyección para el diseño del sistema de tratamiento.....	38
4.5	Diseño del tanque homogeneizador.....	38
4.6	Diseño del tanque séptico .....	39
4.7	Diseño del tanque Imhoff.....	40
4.8	Diseño del campo de infiltración.....	42
4.9	Esquema del sistema propuesto.....	43
4.10	Corrección de los parámetros tratados por el tanque séptico .....	44
4.11	Corrección de los parámetros tratados por el tanque Imhoff.....	45
<b>Conclusiones.....</b>		<b>47</b>
<b>Recomendaciones.....</b>		<b>48</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>		<b>49</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>55</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Condiciones necesarias para la recolección de muestras. ....	19
Tabla 2. Indicador microbiológico y método empleado.....	19
Tabla 3. Indicadores fisicoquímicos analizados y métodos empleados .....	20
Tabla 4. Escala de puntaje en base a criterios positivos y negativos.....	23
Tabla 5. Dotación de agua según el número de habitantes.....	25
Tabla 6. Parámetros de diseño para el tanque homogeneizador.....	26
Tabla 7. Parámetros de diseño para el tanque séptico .....	27
Tabla 8. Parámetros de diseño para el tanque Imhoff .....	28
Tabla 9. Parámetros de diseño para el campo de infiltración.....	29
Tabla 10. Resultados de la caracterización de las aguas residuales .....	33
Tabla 11. Valoración de parámetros para la selección del tratamiento .....	36
Tabla 12. Datos para el diseño del sistema.....	38
Tabla 13. Dimensionamiento del tanque homogeneizador .....	38
Tabla 14. Dimensionamiento del tanque séptico.....	39
Tabla 15. Dimensionamiento del tanque Imhoff.....	41
Tabla 16. Dimensionamiento del campo de infiltración.....	43
Tabla 17. Resultados post tratamiento por el tanque séptico .....	44
Tabla 18. Comparativa de resultados post tratamiento del tanque séptico.....	45
Tabla 19. Resultados post tratamiento por el tanque Imhoff.....	45
Tabla 20. Comparativa de resultados post tratamiento del tanque Imhoff.....	46

## Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la parroquia Columbe.....	16
Figura 2. Ubicación del punto de muestreo.....	32
Figura 3. Esquema del diseño del tanque homogeneizador.....	39
Figura 4. Esquema del diseño del tanque séptico.....	40
Figura 5. Esquema del diseño del tanque Imhoff.....	42
Figura 6. Diagrama del sistema propuesto .....	43
Figura 7. Valores obtenidos en aceites y grasas .....	60
Figura 8. Valores obtenidos de pH.....	60
Figura 9. Valores obtenidos de conductividad .....	60
Figura 10. Valores obtenidos de sólidos totales .....	61
Figura 11. Valores obtenidos de nitritos.....	61
Figura 12. Valores obtenidos de nitratos .....	61
Figura 13. Valores obtenidos de fosfatos .....	62
Figura 14. Valores obtenidos de coliformes fecales.....	62
Figura 15. Valores obtenidos de coliformes totales .....	62
Figura 16. Valores obtenidos en DQO y DBO <sub>5</sub> .....	63

## Resumen

El proyecto de tesis tuvo como objetivo proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales en la parroquia Columbe, diseñado específicamente para la población estudiantil de la Unidad Educativa “Hualcopo Duchicela”. Este sistema, con una proyección de 20 años, fue desarrollado con el apoyo de la fundación World Vision y la colaboración del GAD parroquial de Columbe, en beneficio de la comunidad y el ambiente.

Estudios previos realizados por la Universidad Nacional de Chimborazo en la zona evidenciaron un deterioro significativo en la calidad del agua debido a la gestión inadecuada de las descargas de aguas residuales, lo que representaba un riesgo para la salud pública y el medio ambiente. Estos hallazgos resaltaron la necesidad urgente de implementar un sistema de tratamiento eficaz en la zona. La metodología empleada consistió en una investigación aplicada con un diseño de campo, que incluyó la recolección de información primaria y secundaria. Se realizaron visitas de campo, entrevistas con actores clave y una caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales.

Los resultados mostraron que parámetros como la DBO<sub>5</sub> (142 mgO<sub>2</sub>/L), DQO (235 mgO<sub>2</sub>/L), aceites y grasas (66,67 mg/L), coliformes fecales (2,35x10<sup>4</sup> UFC/mL) y coliformes totales (10,42x10<sup>4</sup> UFC/mL) superaban los límites máximos permitidos por las normativas nacionales. Con base en estos resultados, se propuso un sistema de tratamiento compuesto por un tanque homogeneizador, un tanque séptico y un campo de infiltración. El tanque séptico fue seleccionado como sistema principal debido a su facilidad de implementación, bajo costo de mantenimiento y adecuación a las necesidades de la población rural de Columbe. Como alternativa, se planteó el dimensionamiento de un tanque Imhoff, el cual podría ser utilizado en caso de requerirse un sistema para manejar un mayor volumen de aguas residuales. Esta propuesta buscó ofrecer una solución sostenible y adaptable a las condiciones específicas de la parroquia.

**Palabras claves:** *Aguas residuales, Tanque séptico, Tanque Imhoff, Columbe, Calidad del agua, DBO<sub>5</sub>, DQO, Coliformes*

## Abstract

The objective of the thesis project was to propose a wastewater treatment system in the Columbe parish, specifically designed for the student population of the “Hualcopo Duchicela” Educational Unit. This system, with a 20-year projection, was developed with the support of the World Vision Foundation and the collaboration of the Decentralized Autonomous Government of Columbe parish, benefiting both the community and the environment.

Previous studies conducted by the National University of Chimborazo in the area revealed a significant deterioration in water quality due to inadequate management of wastewater discharges, which represented a risk to public health and the environment. These findings highlighted the urgent need to implement an effective treatment system in the area. The methodology employed consisted of applied research with a field study design, which included the collection of primary and secondary data. Field visits, interviews with key stakeholders, and a physicochemical and microbiological characterization of the wastewater were conducted.

The results showed that parameters such as BOD<sub>5</sub> (142 mgO<sub>2</sub>/L), COD (235 mgO<sub>2</sub>/L), oils and fats (66.67 mg/L), fecal coliforms ( $2.35 \times 10^4$  CFU/mL) and total coliforms ( $10.42 \times 10^4$  CFU/mL) exceeded the maximum limits allowed by national regulations. Based on these results, a treatment system composed of a homogenizer tank, a septic tank and an infiltration field was proposed. The septic tank was selected as the main system because of its ease of implementation, low maintenance cost and suitability to the needs of the rural population of Columbe. As an alternative, the sizing of an Imhoff tank was proposed, which could be used in case a system was required to handle a larger volume of wastewater. This proposal aims to provide a sustainable and adaptable solution to the specific conditions of the parish.

**Keywords:** *Wastewater, Septic tank, Imhoff tank, Columbe, Water quality, BOD<sub>5</sub>, COD, Coliforms.*



Reviewed by:

Dra. Myriam Trujillo Brito, Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0601823214

## Introducción

El tratamiento de aguas residuales representa un desafío crítico a nivel mundial, especialmente en zonas rurales donde la falta de infraestructura adecuada de saneamiento genera severos impactos en la salud pública y el medio ambiente. En la parroquia de Columbe, ubicada en el cantón Colta, provincia de Chimborazo, esta problemática se ha agravado debido a la ausencia de sistemas de tratamiento, lo que ha resultado en el vertido directo de aguas residuales domésticas en los cuerpos de agua locales.

Estudios previos han evidenciado un deterioro significativo de la calidad del recurso hídrico, debido a una gestión deficiente de los efluentes, que ha generado que algunos contaminantes estén por encima de los límites permitidos por la normativa nacional. Esta situación representa un riesgo para la salud pública y los ecosistemas acuáticos, reflejado en la alteración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias de tratamiento sostenibles que faciliten la remediación de los cuerpos de agua y preserven los recursos hídricos a largo plazo.

Esta investigación tiene como objetivo diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la parroquia Columbe, con una proyección base de 20 años. La Unidad Educativa “Hualcopo Duchicela” fue seleccionada como el sitio de implementación del sistema debido a su condición como principal punto de concentración poblacional en la zona garantizando así que las soluciones propuestas beneficien a un gran número de usuarios.

El diseño del sistema se fundamentó en criterios de viabilidad técnica, eficiencia operativa, optimización de costos y sostenibilidad ambiental. El análisis fisicoquímico y microbiológico de las aguas residuales reveló que parámetros como la DBO<sub>5</sub>, DQO, aceites, grasas y coliformes exceden los límites establecidos. En respuesta, se propone un sistema compuesto por un tanque homogeneizador, un tanque séptico y un campo de infiltración, seleccionando el tanque séptico como la opción principal por su eficiencia, fácil construcción y bajo costo de mantenimiento. Como alternativa, se plantea un tanque Imhoff para aumentar la capacidad de tratamiento según los requerimientos de la parroquia.

La relevancia de este estudio radica en su enfoque integral, que combina aspectos técnicos, sociales y ambientales. Además, los resultados de esta investigación podrían servir como base para futuros proyectos de saneamiento impulsados por las autoridades locales y otras instituciones.

# Capítulo 1

## Generalidades

### 1.1 Planteamiento del problema

La problemática de la calidad del agua para consumo humano crece debido al aumento poblacional y actividades antropogénicas que contaminan los cuerpos de agua naturales. En Latinoamérica, el crecimiento urbano descontrolado genera escasez de agua potable, alcanzando un 80% en zonas rurales (González-Ramírez et al., 2021; Piguave-Reyes et al., 2019).

La contaminación del agua por actividades humanas inició con la industrialización, convirtiéndose en un problema generalizado (Burgos et al., 2015). En Ecuador, esta situación es más crítica en comunidades rurales, donde la ausencia de infraestructura para tratar aguas residuales incrementa riesgos para la salud y el ambiente (Guanquiza Tello & Antúnez Sánchez, 2019).

En la parroquia rural Columbe, cantón Colta, las aguas residuales urbanas se vierten sin tratamiento en el entorno, afectando los recursos hídricos locales. Estudios de la Universidad Nacional de Chimborazo sobre la conservación y uso sostenible de los ecosistemas de los páramos de Llin Llin, Sicalpa y Columbe indican que la calidad del agua en la fección de Columbe no cumple con los estándares mínimos. Esta situación resalta la necesidad urgente de abordar el problema, ya que la falta de sistemas de tratamiento incrementa los riesgos para la salud y amenaza la sostenibilidad de los recursos hídricos vitales para el desarrollo regional.

En las zonas rurales, la carencia de sistemas para tratar aguas residuales genera serios problemas ambientales y de salud. Las descargas directas contaminan fuentes de agua potable, elevan enfermedades relacionadas y afectan los ecosistemas. Esta situación se agrava por la falta de recursos económicos y tecnológicos para soluciones adecuadas (El Dinero, 2024).

Los hallazgos del estudio serán fundamentales para decisiones orientadas a un tratamiento adecuado de aguas residuales comunales. Además, contribuirán al desarrollo de herramientas y estrategias de gestión ambiental que garanticen la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo.

## **1.2 Justificación de la investigación**

El recurso hídrico es esencial para el bienestar humano y la sostenibilidad de los ecosistemas. Sin embargo, la contaminación por aguas residuales no tratadas sigue siendo un problema crítico en comunidades rurales como Columbe, donde la falta de infraestructura para el saneamiento adecuado limita el acceso a agua limpia y compromete la salud pública (Martos López, 2016).

La descarga directa de aguas residuales en cuerpos de agua sin previo tratamiento introduce contaminantes que generan problemas como la eutrofización, la disminución del oxígeno disuelto y la proliferación de enfermedades de origen hídrico. Estos efectos no solo alteran los ecosistemas acuáticos, sino que también afectan negativamente las actividades económicas locales, como la agricultura y la ganadería, que dependen de la disponibilidad de agua de calidad (Langergraber y Muellegger, 2005).

La implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en Columbe es fundamental para abordar estos desafíos. Este proyecto contribuirá a reducir la carga contaminante que afecta los recursos hídricos, protegerá la biodiversidad local y mejorará la calidad de vida de los habitantes. Además, permitirá cumplir con la normativa ambiental vigente en Ecuador y promoverá prácticas sostenibles en la gestión del agua.

Desde una perspectiva técnica, el prediseño de una planta de tratamiento adaptada a las características de Columbe proporcionará una solución escalable y económicamente viable para el manejo de aguas residuales. Asimismo, este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente con el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (UNESCO, ONU-Agua, 2020).

Esta investigación no solo responde a la necesidad de mejorar las condiciones sanitarias y ambientales de Columbe, sino que también sienta las bases para un manejo integral y sostenible del recurso hídrico, contribuyendo al desarrollo económico, social y ambiental de la comunidad.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

- Prediseñar una planta de tratamiento para las aguas residuales en la comunidad de Columbe, cantón Colta.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Evaluar el punto de descarga de generación de aguas residuales en la comunidad de Columbe, cantón Colta.
- Determinar la calidad fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales generadas en la comunidad de Columbe.
- Predimensionar el sistema de tratamiento de aguas residuales producidas en el área de estudio.

## **Capítulo 2**

### **Estado del Arte y la Práctica**

#### **2.1 Fundamentación legal**

El derecho ambiental, en el marco de las ciencias jurídicas, es una de las ramas del derecho internacional más dinámicas y en desarrollo. Los convenios internacionales se están convirtiendo en fuentes cada vez más importantes para el derecho ambiental internacional y para el desarrollo de la legislación ambiental nacional. Actualmente, se han adoptado varios convenios internacionales en este campo (ONU, 2014).

La Constitución de la República del Ecuador, aprobada en 2008, establece un marco normativo avanzado y de vanguardia en torno al agua, reconociéndola como un derecho humano fundamental y como un bien estratégico nacional. Esta fundamentación legal se sustenta en los principios de equidad, sostenibilidad y acceso universal, alineándose con el enfoque del buen vivir “Sumak Kawsay” (Constitución del Ecuador, 2008).

Algunos artículos clave de la Constitución del Ecuador, 2008 en la que se basó la investigación fueron los siguientes:

- **Art. 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.
- **Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.
- **Art. 71.-** Reconocer a la naturaleza como sujeto de derechos y garantizar su respeto integral, incluyendo el mantenimiento de sus ciclos vitales.
- **Art. 72.-** Derecho de la naturaleza a la restauración, especialmente en casos de daño ambiental.

Este marco legal respalda la necesidad de prediseñar una planta de tratamiento de aguas residuales como una medida integral para garantizar tanto los derechos humanos como la preservación de los ecosistemas acuáticos de la zona afectada.

## **2.2 Fundamentación teórica**

### **2.2.1 *Importancia del agua***

El agua desempeña un papel fundamental en el planeta, ya que constituye uno de los principales elementos del medio natural y de la materia viva. Además, participa en el modelado del paisaje al influir en la morfología, la estructura y la composición del entorno mediante diversos procesos, como la erosión, el transporte y la sedimentación (Martos López, 2016).

El agua constituye un recurso esencial para la vida y un componente esencial en el desarrollo sostenible de las sociedades, ya que su disponibilidad y calidad son determinantes para garantizar la supervivencia de los seres vivos y el equilibrio ambiental.

En Ecuador, la Constitución de 2008 reconoce el agua como un derecho humano fundamental e irrenunciable, estableciéndola como un patrimonio estratégico nacional de uso público. Este principio subraya su importancia no solo para satisfacer las necesidades básicas de las personas, como el consumo, la higiene y el saneamiento, sino también para garantizar la salud de los ecosistemas y la biodiversidad. El marco legal ecuatoriano, articulado en los artículos 12 y 14 de la Constitución, prioriza la sostenibilidad y el buen vivir mediante la protección de los recursos hídricos frente a actividades que puedan comprometer su calidad o disponibilidad, como el uso de tecnologías contaminantes o el desarrollo de actividades extractivas que afectan los ecosistemas (Constitución del Ecuador, 2008).

### **2.2.2 *Calidad del agua***

La calidad del agua se evalúa con base en parámetros normativos y las necesidades de los usuarios. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua potable debe cumplir con estándares estrictos de seguridad que limitan la presencia de contaminantes químicos y microbiológicos que puedan representar riesgos para la salud humana (OMS, 2022).

La calidad del agua se refiere a las propiedades químicas, físicas, biológicas y microbiológicas que determinan su adecuación para diversos usos, como el consumo humano, la agricultura, la recreación, la industria y la conservación de ecosistemas, entre algunos factores podemos mencionar los siguientes:

- **Factores Físicos:** Se refiere a características como la turbidez, el color, la temperatura y la concentración de sólidos suspendidos. Estos factores afectan la claridad del agua y su capacidad para ser utilizado en actividades como la recreación o la potabilización. La turbidez, por ejemplo, puede dificultar los procesos de tratamiento y alterar la estética del agua (PNUMA, 2020).
- **Factores Químicos:** Comprenden variables como el pH, la concentración de nutrientes (nitratos, fosfato), metales pesados (plomo, mercurio, cadmio) y compuestos orgánicos. La presencia de estos contaminantes puede tener efectos directos en la salud humana, como enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada, y en los ecosistemas acuáticos, al alterar los ciclos biogeoquímicos y promover fenómenos como la eutrofización (Garrido et al., 2021).

### ***2.2.3 Contaminación ambiental***

La contaminación ambiental se refiere a la presencia de sustancias químicas, biológicas o físicas en el ambiente, que alteran su calidad y afectan negativamente los sistemas naturales y la salud humana. Estas sustancias pueden provenir de fuentes naturales, pero las actividades humanas, como la agricultura intensiva, la industria, la minería y el transporte, son las principales causantes de la contaminación en muchas regiones, incluido Ecuador (Garrido et al., 2021).

Los efectos de la contaminación ambiental son amplios y complejos, afectando tanto la salud humana como el bienestar de los ecosistemas. La contaminación ambiental incide directamente en la calidad de vida de las personas y en la sostenibilidad de los recursos naturales, trayendo consigo graves amenazas para el desarrollo sostenible del país.

### ***2.2.4 Contaminación del agua***

Se refiere a la introducción de sustancias o agentes contaminantes, tales como productos químicos, metales pesados, patógenos y nutrientes, en los cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas, acuíferos) que alteran sus características originales, haciendo que el agua sea inapropiada para su consumo y otros usos. Estos contaminantes pueden tener un origen tanto natural como antropogénico, pero la actividad humana ha incrementado de manera significativa los niveles de contaminación en los cuerpos de agua (González et al., 2018).

Destacando en esta investigación a la contaminación por aguas residuales urbanas/rurales.

### 2.2.5 *Aguas residuales*

Las aguas residuales son aquellas que han sido utilizadas en actividades domésticas, industriales, comerciales o agrícolas y que, como resultado, contienen contaminantes físicos, químicos y biológicos que alteran su composición natural. Estas aguas incluyen desechos provenientes de sanitarios, lavaderos, cocinas y procesos industriales, entre otros (Metcalf & Eddy, 2014).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), su tratamiento adecuado es esencial para evitar la contaminación de los recursos hídricos y garantizar la salud pública (OMS, 2019).

Las aguas residuales se clasifican principalmente en dos tipos:

- **Aguas residuales domésticas:** Proviene de actividades humanas como la cocina, el baño y la limpieza. Contienen contaminantes como materia orgánica, grasas, detergentes y microorganismos patógenos.
- **Aguas residuales industriales:** Varían en composición dependiendo del tipo de industria, pudiendo incluir metales pesados, compuestos orgánicos sintéticos y contaminantes peligrosos (Tchobanoglous et al., 2015).

### 2.2.6 *Aguas residuales domésticas*

Las aguas residuales domésticas son aquellas que provienen de actividades cotidianas en los hogares, incluyendo el uso de agua para higiene, limpieza, y cocina. Estas aguas contienen materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo), y patógenos, que, si no son adecuadamente tratadas, pueden tener efectos adversos en la salud y el ambiente (Bastidas & Ramos, 2021). Según la OMS (2021), el tratamiento inadecuado de estas aguas contribuye a la contaminación de fuentes de agua potable y a la propagación de enfermedades infecciosas.

Las aguas residuales en áreas rurales suelen presentar diferencias significativas con respecto a las urbanas debido a factores como la baja densidad poblacional, la limitada infraestructura sanitaria y la variabilidad en los volúmenes generados. Además, los parámetros físicoquímicos y microbiológicos pueden variar ampliamente dependiendo de los hábitos locales, el acceso al agua potable y la disposición de desechos sólidos (Ramírez & Vega, 2017).

### 2.2.7 *Pretratamiento de aguas residuales*

El pretratamiento de aguas residuales es una etapa fundamental en los sistemas de tratamiento, ya que prepara el agua contaminada para procesos posteriores más complejos. Su objetivo principal es remover sólidos gruesos, grasas, aceites y otros materiales que pueden interferir con el funcionamiento de las unidades de tratamiento secundario o terciario. Según Metcalf & Eddy (2014), el pretratamiento no solo protege la infraestructura, sino que también mejora la eficiencia global del sistema de tratamiento.

El pretratamiento incluye una serie de procesos físicos y, en algunos casos, químicos, diseñados para remover contaminantes específicos. Los componentes más comunes son:

- **Rejillas y cribas:** Utilizadas para retener sólidos grandes como plásticos, papeles y otros desechos. Según Tchobanoglous et al., (2014), las rejillas pueden ser de limpieza manual o automática, dependiendo del caudal y la carga de sólidos.
- **Trampas de grasas:** Diseñadas para separar grasas, aceites y sólidos flotantes. EPA (Environmental Protection Agency, 2020) recomienda su uso en sistemas que reciben descargas de cocinas o industrias alimentarias.
- **Desarenadores:** Encargados de remover partículas minerales como arena y grava. ASCE (American Society of Civil Engineers, 2017) sugiere un tiempo de retención de 2 a 5 minutos y una velocidad de flujo entre 0,15 y 0,3 m/s para una sedimentación efectiva.
- **Tanques de homogenización:** Utilizados para uniformizar el caudal y la concentración de contaminantes. Metcalf & Eddy (2014) indica que el tiempo de retención en estos tanques varía entre 4 y 12 horas, dependiendo de la variabilidad del influente.
- **Filtros y sedimentadores primarios:** Los filtros retienen sólidos suspendidos, mientras que los sedimentadores primarios permiten la sedimentación de sólidos pesados. Ambos son eficaces para reducir la carga orgánica antes del tratamiento secundario (Tchobanoglous et al., 2014).

### 2.2.8 *Tratamiento de aguas residuales*

El tratamiento de aguas residuales implica procesos físicos, químicos y biológicos diseñados para eliminar los contaminantes presentes en el agua. Estos procesos se dividen en tres etapas principales:

- **Tratamiento primario:** Consiste en la remoción de sólidos suspendidos y materiales flotantes mediante procesos físicos como cribado, sedimentación y flotación. Esta etapa reduce significativamente la carga de contaminantes visibles y prepara el agua para las siguientes fases (Metcalf & Eddy, 2014).
- **Tratamiento secundario:** Utiliza procesos biológicos para degradar la materia orgánica disuelta en el agua. Métodos como los sistemas de lodos activados, lagunas de estabilización y reactores anaeróbicos son efectivos en contextos rurales por su simplicidad y bajo costo (Tchobanoglous et al., 2015).
- **Tratamiento terciario:** Es un proceso avanzado que incluye técnicas como desinfección, filtración y eliminación de nutrientes específicos (nitrógeno y fosfato). Aunque más costoso, es esencial en casos donde se requiere un agua de alta calidad para su reutilización o descarga en ecosistemas sensibles (UNESCO, 2017).

### 2.2.9 *Tratamientos anaeróbicos*

- **Tanques sépticos:** Un tanque séptico es un sistema descentralizado de tratamiento primario de aguas residuales que se utiliza, principalmente, en áreas rurales o periurbanas donde no existe una red de alcantarillado. Está compuesto por una cámara subterránea donde las aguas residuales se separan en sólidos, líquidos y espuma. Los sólidos se sedimentan formando lodos en el fondo, los líquidos se filtran hacia el entorno a través de un campo de infiltración, y la espuma flota para su descomposición progresiva (Tchobanoglous et al., 2015).

Según Castañeda et al., (2020), los tanques sépticos son una solución económica y de fácil implementación, especialmente adecuada para áreas rurales con baja densidad poblacional. Sin embargo, su diseño y mantenimiento adecuados son esenciales para prevenir la contaminación de fuentes de agua subterránea y la proliferación de enfermedades.

- **Tanque Imhoff:** Es un sistema de tratamiento primario y parcial de aguas residuales que combinan en una misma estructura dos procesos fundamentales: la

sedimentación de sólidos y la digestión anaerobia. Inventados por Karl Imhoff en 1906, estos tanques constan de dos compartimentos principales: una cámara superior, donde ocurre la sedimentación, y una cámara inferior, donde los lodos se acumulan y son estabilizados mediante procesos anaerobios (Metcalf & Eddy, 2014). Los tanques Imhoff son especialmente útiles por su bajo costo de construcción y operación, así como por su capacidad para tratar eficientemente aguas residuales domésticas. Según Castañeda et al., (2020), son ideales para comunidades de tamaño pequeño o mediano que carecen de infraestructura compleja para el tratamiento de aguas residuales.

- **Reactor UASB:** El reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodo (UASB, por sus siglas en inglés) es una tecnología ampliamente utilizada para el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad de operar con bajo consumo energético, generar biogás como subproducto y adaptarse a diferentes tipos de aguas residuales. Este reactor se caracteriza por su configuración simple, que permite la separación de fases (sólidos, líquidos y gases) en un solo sistema, y por el uso de lodo anaerobio como medio de tratamiento biológico (Esparza-Soto et al., 2013).

### ***2.2.10 Tratamientos aeróbicos***

Los procesos aeróbicos utilizan microorganismos para degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales, convirtiéndola en biomasa, dióxido de carbono y agua. Estos sistemas son particularmente efectivos para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales debido a su capacidad para eliminar contaminantes orgánicos y nutrientes (Tchobanoglous et al., 2014).

- **Lodos activados:** El sistema de lodos activados es uno de los procesos más utilizados a nivel mundial. Consiste en un reactor biológico donde se mezcla el agua residual con microorganismos en presencia de oxígeno. Durante el proceso, los microorganismos consumen la materia orgánica, lo que resulta en la formación de flóculos que pueden separarse por sedimentación. Este sistema es efectivo para la eliminación de la DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y nutrientes como nitrógeno y fosfato (Metcalf & Eddy, 2013). Adicionalmente, los lodos activados permiten un control preciso de los parámetros operativos, como el tiempo de retención y la carga orgánica. En Ecuador, el uso de lodos activados ha sido promovido en plantas de tratamiento urbanas debido a su eficiencia y adaptabilidad

a diferentes caudales, especialmente en ciudades de tamaño medio y grande (MAATE, 2021).

- **Filtros percoladores:** Este sistema emplea un lecho fijo recubierto con microorganismos que degradan la materia orgánica cuando el agua residual percola a través del lecho. El lecho puede estar compuesto de materiales como roca triturada, plástico o medios sintéticos que proporcionan una alta área superficial para la adhesión microbiana. Los filtros percoladores son adecuados para comunidades pequeñas debido a su bajo costo operativo y mantenimiento (Crites & Tchobanoglous, 2016).
- **Lagunas aeróbicas:** Las lagunas aeróbicas son cuerpos de agua poco profundos que se airean mecánica o naturalmente. Estas lagunas funcionan mediante la actividad de microorganismos que descomponen la materia orgánica en presencia de oxígeno. Su diseño sencillo y bajos costos de construcción las hacen especialmente útiles en zonas rurales de Ecuador (García et al., 2015).

### ***2.2.11 Post tratamientos***

El postratamiento de aguas residuales se refiere a los procesos adicionales que se aplican después del tratamiento primario y secundario para mejorar la calidad del efluente antes de su descarga o reutilización. Estos procesos son esenciales para cumplir con estándares de calidad más estrictos, especialmente en lo que respecta a la eliminación de nutrientes, patógenos y contaminantes emergentes (Metcalf & Eddy, 2014).

Aunque los tratamientos primarios y secundarios eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos y la materia orgánica, el efluente aún puede contener nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos y micro contaminantes que requieren un tratamiento adicional (Tchobanoglous, Stensel, & Burton, 2014).

## **Capítulo 3**

### **Diseño Metodológico**

#### **3.1 Enfoque de la investigación**

- **Aplicada:** Se orientó a resolver un problema concreto (contaminación por aguas residuales) en la comunidad rural “Columbe”.
- **Descriptiva:** Se caracterizó las aguas residuales de la comunidad, incluyendo parámetros fisicoquímicos como DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno), pH (potencial hidrógeno), sólidos totales disueltos, además de otros parámetros.
- **Exploratoria:** Se analizó tecnologías viables de tratamiento considerando factores socioeconómicos, ambientales y culturales de la región.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

La investigación adoptó un diseño mixto experimental, combinando métodos cualitativos y cuantitativos:

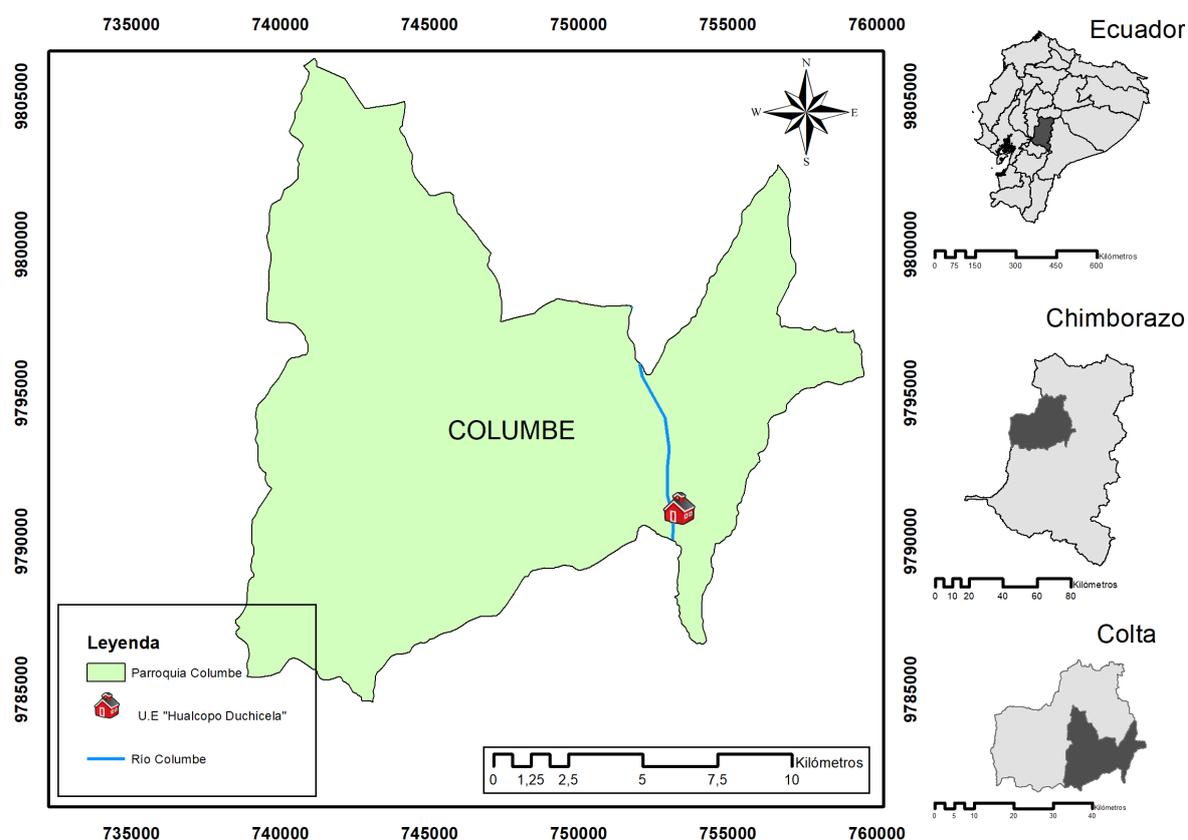
- **Fase cualitativa :** Entrevistas con los involucrados y autoridades locales para entender las necesidades y limitaciones en la gestión de aguas residuales.
- **Fase cuantitativa :** Muestreo de aguas residuales para medir parámetros clave, como DBO, DQO, pH, grasas, coliformes fecales, características fisicoquímicas del agua.
- **Análisis comparativo :** Evaluación de alternativas de tratamiento (tratamientos aeróbicos y tratamientos anaeróbicos) en función de la eficiencia, costos y factibilidad.

### 3.3 Área de estudio

La población considerada para la investigación estará conformada por el total de personas que asisten a la Unidad Educativa “Hualcopo Duchicela”. Hasta la fecha, en el año 2025, se estima un aproximado de 275 personas, incluyendo estudiantes y docentes.

El área de estudio donde se desarrolló la investigación es en una comunidad rural de Columbe, que se encuentra ubicada en el cantón Colta, Chimborazo, Ecuador (**Figura 1**).

**Figura 1.** Mapa de ubicación de la parroquia Columbe



Fuente: Autor

La parroquia de Columbe se caracteriza por su rica herencia cultural y una población predominantemente indígena de la etnia Puruhá. Según datos del Gobierno Autónomo Descentralizado de Columbe, la parroquia cuenta con una población de 15707 habitantes y una extensión territorial de 172,90 km<sup>2</sup>. La parroquia se encuentra a una altitud promedio de 3212 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura media de 12 °C (GAD Columbe, 2024).

### **3.4 Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos**

#### **3.4.1 *Análisis bibliográfico***

Se accedió a una serie de documentos proporcionados por diversas instituciones locales y no locales, entre las cuales destacan el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Colta, la Prefectura de Chimborazo y la Fundación World-Vision. Estos documentos contienen información valiosa y pertinente sobre el ordenamiento territorial del cantón, así como estudios realizados por la Universidad Nacional de Chimborazo que analizan las afectaciones en la microcuenca de la zona.

La información recopilada de estos documentos no solo proporciona un contexto crítico para comprender la situación actual de las aguas residuales y su gestión en la región, sino que también resalta la importancia de la cooperación interinstitucional. Este enfoque colaborativo es esencial para el desarrollo de estrategias efectivas que promuevan un manejo integral de las aguas residuales, aborden las problemáticas ambientales y mejoren la calidad de vida de los habitantes del cantón.

#### **3.4.2 *Entrevistas***

Se llevaron a cabo entrevistas con líderes comunitarios del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Parroquial de Columbe, con el respaldo de la Fundación World-Vision, además de los directivos institucionales de la Unidad Educativa “Hualcopo Duchicela” con el propósito de reunir información sobre los posibles puntos de descarga de aguas residuales en la zona. Estas conversaciones resultaron fundamentales para obtener datos cualitativos y cuantitativos significativos, ofreciendo una perspectiva profunda sobre la percepción y el conocimiento que la comunidad tiene acerca de los problemas asociados con las aguas residuales.

#### **3.4.3 *Muestreo simple***

Este método consiste en tomar una muestra representativa en un punto específico sin aplicar criterios de selección complejos. Es una técnica directa y adecuada cuando se busca evaluar una única fuente de contaminación, como el caso de un tanque séptico desbordado que posee la institución educativa. Según la American Public Health Association (APHA), este tipo de muestreo es útil para estudios puntuales o diagnósticos iniciales en zonas rurales (APHA, 2017).

#### **3.4.4 *Recolección directa***

La muestra fue recolectada directamente de los alrededores del tanque séptico utilizando frascos estériles. Esto asegura que los contaminantes detectados provienen exclusivamente de la fuente y no de contaminación secundaria. Según las guías de la APHA, el uso de recipientes estériles es esencial para garantizar la validez de los análisis microbiológicos y químicos (APHA, 2017).

#### **3.4.5 *Transporte y almacenamiento***

Las muestras deben ser transportadas a bajas temperaturas (en una hielera) y analizadas en un período máximo de 24 horas para preservar su integridad. Este procedimiento es crítico para evitar alteraciones químicas o biológicas en la muestra, especialmente en análisis de parámetros como DBO y coliformes fecales (WHO, 2019).

### **3.5 *Recolección de datos para análisis en laboratorio***

#### **3.5.1 *Condiciones de recolección para las muestras***

Los criterios utilizados durante el proceso se detallan en la **Tabla 1**, estos se efectuaron siguiendo los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA et al., 2019). Mientras que los materiales y toma de muestras se evidencian en el **Anexo 2**.

#### **3.5.2 *Caracterización de aguas residuales y parámetros analizados***

La caracterización de las aguas residuales se llevó a cabo mediante un análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con el objetivo de evaluar su calidad y posibles impactos ambientales. Estas actividades se realizaron en los laboratorios especializados de Servicios Ambientales y Ciencias Químicas de la carrera de Ingeniería Ambiental, UNACH.

**Tabla 1.** Condiciones necesarias para la recolección de muestras.

Parámetros	Cantidad mínima de muestra (mL)	Tiempo máximo de almacenamiento	Formas de conservación
Turbidez	----	24 horas	Análisis inmediato, guardar en oscuridad hasta 24 horas y refrigeración
pH	----	2 horas/inmediato	Análisis inmediato
Conductividad	500	28 días	Refrigeración
Sólidos	----	7 días	Refrigeración
Fosfatos	100	48 horas	Para fosfato disuelto filtración inmediata y refrigeración
Nitratos	100	48 horas	Análisis inmediato o refrigeración
Nitritos	100	----	Análisis inmediato o refrigeración
Sulfatos	----	28 días	Refrigeración
Aceites y grasas	1000	28 días	Agregar ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH < 2 y refrigeración
DBO	1000	6 horas/48 horas	Refrigeración
DQO	100	7 días/28 días	Análisis inmediato o agregar ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH < 2 y refrigeración

Fuente: (APHA et al., 2019)

En la **Tabla 2** y la **Tabla 3** se presentan el listado de los parámetros analizados y los métodos empleados. Mientras que en el **Anexo 3** se detallan los materiales y equipos empleados en los análisis de los parámetros evaluados, además de proporcionar información específica sobre los instrumentos utilizados.

**Tabla 2.** Indicador microbiológico y método empleado

Análisis	Parámetros	Unidades	Norma	Método
Microbiológico	Coliformes fecales y totales	(UFC/mL)	Método de Unidades Formadoras de Colonias (UFC)	PetriFilm

Fuente: (APHA, 2017)

**Tabla 3.** Indicadores fisicoquímicos analizados y métodos empleados

Análisis	Parámetros	Unidades	Norma	Método
Fisicoquímico	Aceites y grasas	mg/L	EPA 1664 (Extracción gravimétrica con n-hexano)	Gravimétrico
	Conductividad	μS/cm	EPA 120.1 (Medición con conductímetro calibrado)	Potenciométrico
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg O <sub>2</sub> /L	APHA 5210 (Ensayo de incubación de 5 días a 20 °C)	Respirométrico
	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	Estándar 5220-D-mood	Fotométrico
	Fosfatos	mg/L	Estándar 4500-N-E mod	Fotométrico
	Nitratos y Nitritos	mg/L	EPA 353.2 (Nitratos y nitritos mediante espectrofotometría)	Fotométrico
	Potencial de Hidrógeno (pH)	-----	EPA 150.1 (Medición directa con medidor de pH)	Potenciométrico
	Sólidos Totales	mg/L	EPA 160.1 (Gravimetría para sólidos totales)	Gravimétrico

Fuente: (Hach, 2000)

### 3.6 Selección y diseño del sistema de tratamiento

#### 3.6.1 Criterios de selección para el tratamiento primario

- **Compatibilidad con el sistema principal:**

El pretratamiento debe complementar las funciones del tanque séptico o Imhoff, mejorando la remoción de sólidos, grasas o materia orgánica (Metcalf & Eddy, 2014).

- **Características del agua residual:**

Concentración de sólidos suspendidos, grasas, aceites y materia orgánica (DBO<sub>5</sub> y DQO).

Fluctuaciones en el caudal y la carga contaminante (Tchobanoglous et al., 2014).

- **Eficiencia de tratamiento:**

Remoción de grasas y aceites (trampa de grasas): 90% (Metcalf & Eddy, 2014).

Reducción de carga orgánica (tanque de homogeneización): 10-30% (Tchobanoglous et al., 2014).

Considerando los factores previamente mencionados, los pretratamientos más adecuados para una zona rural, son:

- Trampa de grasas
- Tanque homogeneizador

### ***3.6.2 Criterios de selección para el tratamiento secundario***

Los criterios para la selección del sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Columbe se llevó a cabo mediante un análisis integral que mostró diversos factores como:

- **Normatividad y estándares de descarga:**  
El diseño debe cumplir con las normativas ambientales locales e internacionales que regulan los límites máximos permisibles para la descarga de aguas tratadas (EPA, 2010).
- **Capacidad de tratamiento:**  
Se debe considerar el caudal promedio y máximo del agua residual generada para dimensionar correctamente las unidades de tratamiento (Crites & Tchobanoglous, 2014).
- **Selección de procesos adecuados:**  
La selección del proceso (físico, químico o biológico) dependerá de las características del agua residual, las metas de tratamiento y los requisitos legales (Metcalf & Eddy, 2014).
- **Viabilidad técnica y económica:**  
El sistema debe ser viable tanto técnica como económicamente, considerando los costos de construcción, operación, mantenimiento y energía (Von Sperling, 2007).
- **Facilidad de operación y mantenimiento:**  
Los sistemas diseñados deben ser fáciles de operar y mantener, especialmente en áreas con recursos técnicos limitados (Von Sperling, 2007).

Por otra parte, con base en estos factores, se priorizaron tecnologías de tratamiento biológico que fueran apropiadas para las características geográficas y climáticas de la zona, como su topografía montañosa y la densa vegetación como son:

- Tanque Séptico.
- Tanque Imhoff.
- Lodos Activados.
- Reactor U.A.S.B.
- Filtros percoladores

### **3.6.3 Criterios de selección para el tratamiento terciario**

La selección de un tratamiento terciario para el tratamiento de aguas residuales se basa en varios criterios fundamentales que buscan garantizar la eficacia del proceso y el cumplimiento de las normativas ambientales. A continuación, se presentan los criterios clave:

- **Calidad del efluente** post tratamiento secundario. Si los niveles de contaminantes como DBO, SST y nutrientes exceden los límites permitidos por la normativa, se requiere la implementación de un tratamiento terciario. La selección de un tratamiento terciario debe garantizar el cumplimiento de las regulaciones locales y nacionales que establecen límites específicos para la calidad del efluente final (MARN, 2016).
- **Disponibilidad de espacio** en el sitio de tratamiento es un factor determinante. Los campos de infiltración requieren áreas significativas para su instalación. En zonas rurales donde el espacio es abundante, este método puede ser altamente efectivo y económico en comparación con tecnologías más compactas y costosas. La evaluación de la capacidad de infiltración del suelo es crucial para asegurar que el efluente se disperse adecuadamente (UNATSABAR, 2005).
- **Costos** es un factor determinante en la selección del tratamiento terciario. Los campos de infiltración tienen costos de operación relativamente bajos, ya que no requieren insumos químicos ni equipos atractivos. Esto los convierte en una opción atractiva para comunidades con recursos limitados. Además, la simplicidad del mantenimiento influye en la elección del tratamiento, ya que los campos de infiltración requieren menos atención en comparación con tecnologías complejas (EPA, 2012).

Entre estos aspectos se puede recomendar los siguientes métodos:

- Campo de infiltración

- Desinfección UV (ultravioleta)
- Cloración

### 3.6.4 Selección basada en factores ponderados del tratamiento secundario

Para seleccionar la técnica más adecuada para el tratamiento secundario de aguas residuales, se empleó un enfoque multicriterio que considera diversos factores relevantes, como la eficiencia de tratamiento, el costo y la sostenibilidad ambiental. Este tipo de análisis permite a los tomadores de decisiones comparar y clasificar diferentes alternativas de manera sistemática (Mardani et al., 2017). Al aplicar una escala de ponderación, se asignan valores específicos a cada criterio, lo que facilita la identificación de la opción más ventajosa (Zavadskas et al., 2014).

La utilización de métodos de evaluación multicriterio ha demostrado ser eficaz en la optimización de sistemas de tratamiento de aguas residuales, garantizando que se elijan soluciones adecuadas y viables (Nour et al., 2020).

En la metodología aplicada, inicialmente se estable subjetivamente una escala de puntaje en base a criterios positivos y negativos como se puede observar en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Escala de puntaje en base a criterios positivos y negativos

<b>Criterios</b>	<b>Escala de puntuación</b>
Muy bueno	4
Bueno	2
Regular	0
Inadecuado	-2
Muy inadecuado	-4

**Fuente:** Autor

Posteriormente, se identificaron los diversos factores que van a ser puestos a calificación para poder seleccionar entre todos los tratamientos, el más adecuado. Teniendo así los siguientes aspectos:

- Rendimiento
- Costo económico
- Costo de mantenimiento
- Costo de instalación

- Espacio
- Costo de operación
- Tiempo de tratamiento
- Capacidad al crecimiento demográfico

A cada variable se le asignó una ponderación subjetiva. Finalmente, se calculó la sumatoria de los productos obtenidos para cada alternativa tecnológica evaluada, lo que permitió establecer un orden de prioridad. Este orden se determinó con base en la puntuación total alcanzada por cada técnica, donde un puntaje más elevado indicaba una mayor viabilidad y condiciones más favorables.

### ***3.6.5 Cálculo poblacional y margen de diseño futuro***

En el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, se definió como población objetivo a los estudiantes de la Unidad Educativa “Hualcopo Duchicela”. Los estudios realizados, junto con la información proporcionada por el GAD parroquial de Columbe y la Fundación World Vision, concluyeron que tratar este punto de descarga es una opción más económica y compatible con los recursos presupuestarios disponibles.

Dado que no se contaba con datos específicos sobre la tasa de crecimiento poblacional de la unidad educativa, se consideró necesario incorporar un sobredimensionamiento razonable en el diseño del sistema, basado en la tasa de crecimiento poblacional establecida por el PDOT de Chimborazo. Esta estrategia asegura que el sistema mantenga su capacidad operativa ante posibles aumentos en la generación de aguas residuales, ya sea por el crecimiento del alumnado o por cambios en las actividades institucionales.

Con el fin de garantizar la sostenibilidad y funcionalidad a largo plazo, se proyectó el sistema con un horizonte mínimo de 20 años, alineado con los criterios de sobre diseño y vida útil recomendados en la literatura técnica. Según Metcalf & Eddy (2014), la vida útil de un sistema de tratamiento de aguas residuales oscila entre 20 y 30 años, dependiendo de la durabilidad de sus componentes principales, como tanques, tuberías, bombas y equipos electromecánicos.

Sin embargo, con un mantenimiento adecuado, algunos sistemas pueden extenderse más allá de este período, las mejores prácticas para garantizar un margen de diseño efectivo incluyen:

- Realizar proyecciones precisas de la población futura, fundamentadas en datos históricos y tendencias de crecimiento.
- Incluir márgenes de seguridad para abordar variaciones inesperadas en la demanda.
- Diseñar el sistema con flexibilidad para permitir futuras expansiones o adaptaciones sin comprometer su operación actual.

### 3.6.6 *Prediseño del sistema de tratamiento*

#### 3.6.6.1 Valor de dotación de agua

Para calcular la dotación de agua, se consideran factores como la cantidad de habitantes de la población proyectada y las condiciones climáticas particulares de la región. Esta información, presentada en la **Tabla 5**, permitió definir una dotación de diseño de 150 litros por persona al día (L/hab.día).

**Tabla 5.** Dotación de agua según el número de habitantes

Habitantes	Clima	Dotación media futura (L/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000 a 50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización (2003).

### 3.6.6.2 Caudal de diseño

El caudal teórico diario de aguas residuales de origen doméstico se calcula utilizando la ecuación (1). Este valor será empleado para determinar los parámetros operativos de los equipos en el tratamiento primario, secundario y terciario:

$$Qp = \frac{P \times \text{Dotación} * \% \text{ contribución}}{1000} \quad (1)$$

Donde:

- Qp: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)
- P: Población (# de habitantes)
- Dotación: Según la **Tabla 5**, basado en los habitantes
- % contribución: 4,5%
- 1000 para que el caudal se exprese en metros cúbicos

### 3.6.6.3 Diseño del tanque homogeneizador

El cálculo del tanque de homogenización se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por Romero (1999). Los parámetros de diseño se presentan en la **Tabla 6**, mientras que las ecuaciones utilizadas para el cálculo de esta unidad de tratamiento se encuentran detalladas en el **Anexo 5**.

**Tabla 6.** Parámetros de diseño para el tanque homogeneizador

Parámetro	Nomenclatura	Unidad
Caudal	Qp	$\frac{m^3}{h}$
Área del tanque	A	m <sup>2</sup>
Diámetro del tanque	Φ	m
Radio del tanque	r	m
Volumen del tanque	V	m <sup>3</sup>
Diámetro del impulsor	di	m
Ancho de las paletas	q	m
Longitud de las paletas	L	m
Número de deflectores	W	-l
Ancho de los deflectores	Wb	m

**Fuente:** (Romero, 1999)

### 3.6.6.4 Diseño del tanque séptico

Las fórmulas para el cálculo del volumen de un tanque séptico, incluyendo el volumen de líquidos y sólidos, están respaldadas por literatura técnica propuesta por la (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Los parámetros de dimensionamiento se presentan en la **Tabla 7**, mientras que las ecuaciones utilizadas para el cálculo de esta unidad de tratamiento se encuentran detalladas en el **Anexo 5**:

**Tabla 7.** Parámetros de diseño para el tanque séptico

Parámetro	Nomenclatura	Unidad
Caudal promedio	Qp	$\frac{m^3}{d}$
Tiempo de retención hidráulica	Pr	días
Volumen de sedimentación	Vs	m <sup>3</sup>
Volumen de almacenamiento de lodos	Vd	m <sup>3</sup>
Volumen de natas	Vn	m <sup>3</sup>
Profundidad máxima de espuma	He	m
Volumen útil	V <sub>T</sub>	m <sup>3</sup>
Profundidad útil	P <sub>F</sub>	m
Área superficial del tanque	A	m <sup>2</sup>
Profundidad mínima de saturación	Hs	m
Profundidad libre de lodo	Ho	m
Profundidad de espacio libre	H <sub>L</sub>	m
Profundidad de digestión de lodos	Hd	m
Profundidad total efectiva	H <sub>T</sub>	m
Volumen de tratamiento de líquidos	V <sub>L</sub>	m <sup>3</sup>
Volumen total del tanque séptico	V	m <sup>3</sup>

**Fuente:** (Comisión Nacional Del Agua, 2015)

### 3.6.6.5 Diseño del tanque Imhoff

El diseño del tanque Imhoff se desarrolló siguiendo la metodología propuesta por la Comisión Nacional del Agua (2015). En la **Tabla 8** se presentan los parámetros de diseño, mientras que las ecuaciones utilizadas para el cálculo de esta unidad de tratamiento se encuentran detalladas en el **Anexo 5**:

**Tabla 8.** Parámetros de diseño para el tanque Imhoff

Parámetro	Nomenclatura	Unidad
Caudal promedio	Qp	$\frac{m^3}{d}$
Carga superficial	Cs	$\frac{m^3}{m^2 \times h}$
Área del sedimentador	As	m <sup>2</sup>
Período retención hidráulica	R	h
Volumen del sedimentador	Vs	m <sup>3</sup>
Carga hidráulica	Chu	$\frac{m^3}{m \times d}$
Longitud de salida del vertedero	Lv	m
Factor de capacidad relativa	fcr	-
Volumen de digestión	Vd	m <sup>3</sup>
Tiempo de digestión	Td	d
Densidad del lodo	$\rho_{LODO}$	$\frac{kg}{L}$
Sólidos en suspensión	SS	$\frac{g \times SS}{hab \times d}$
Masa de sólidos que conforman lodos	Msd	$\frac{kg \times SS}{d}$
Carga de sólidos que ingresan al sedimentador	C	$\frac{kg \times SS}{d}$
Volumen diario de lodos digeridos	Vld	$\frac{L}{d}$
Volumen de lodos a extraerse	Vel	m <sup>3</sup>
Profundidad de aplicación	Ha	m
Área del lecho de secado	Als	m <sup>2</sup>

**Fuente:** (Comisión Nacional Del Agua, 2015)

### 3.6.6.6 Diseño del campo de infiltración

Las fórmulas para el cálculo del campo de infiltración están respaldadas por literatura técnica propuesta por la (Comisión Nacional del Agua, 2015). Los parámetros de dimensionamiento se presentan en la **Tabla 9**, mientras que las ecuaciones utilizadas para el cálculo de esta unidad de tratamiento se encuentran detalladas en el **Anexo 5**:

**Tabla 9.** Parámetros de diseño para el campo de infiltración

<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidad</b>
Caudal	Qp	m <sup>3</sup> /d
Permeabilidad del suelo	K	mm/h
Numero de zanjas	Nz	-
Ancho de zanjas	Az	m
Área de superficie del campo de infiltración	A	m <sup>2</sup>
Longitud de zanjas	L	m
Profundidad de infiltración	D	m

**Fuente:** (Comisión Nacional Del Agua, 2015)

### 3.7 Rendimientos teóricos del tratamiento

#### 3.7.1 *Tanque séptico*

Algunas características fisicoquímicas y microbiológicas que mejora el sistema de tratamiento de los tanques sépticos son los siguientes:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) (30-50%):** La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) se reduce en un rango del 30-50% gracias a los tanques sépticos. Esto se debe a que la materia orgánica contenida en las aguas residuales es parcialmente digerida por microorganismos anaeróbicos, disminuyendo así la carga orgánica (Metcalf & Eddy, 2013).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO) (20-40%):** La demanda química de oxígeno (DQO) también se beneficia del tratamiento en un tanque séptico, con una reducción estimada del 20-40%. Este resultado proviene de la separación física de sólidos y la digestión de materia orgánica (Crites & Tchobanoglous, 1998).
- **Aceites y Grasas (50-80%):** Los aceites y grasas presentes en las aguas residuales pueden ser reducidos en un 50-80% en un tanque séptico. Esto ocurre porque estas sustancias flotan y forman una capa superior, que queda retenida dentro del sistema (EPA, 2002).
- **Coliformes fecales (30-50%):** En el ámbito microbiológico, los tanques sépticos pueden reducir entre un 30-50% los coliformes fecales y otros microorganismos patógenos. Aunque no garantizan la eliminación total, la sedimentación y el tiempo

de retención contribuyen a una disminución parcial de la carga microbiana (OMS, 2006).

- **Coliformes totales (30-50%):** Similar a los coliformes fecales, la remoción depende del ambiente anaeróbico del tanque séptico, donde algunos microorganismos sedimentan o se desactivan parcialmente (WHO, 2006).
- **Conductividad (0%):** No se observa reducción de la conductividad, ya que los sólidos disueltos permanecen en el efluente. Esto es característico de procesos que no eliminan sales (EPA, 2002).
- **Fosfatos (10-20%):** La remoción de fosfato es mínima debido a que estos no se eliminan en ambientes anaeróbicos. En general, permanecen en el efluente (WHO, 2006).
- **Potencial de hidrógeno (pH):** El pH del efluente suele mantenerse estable, reflejando el pH inicial del influente (Crites & Tchobanoglous, 1998).
- **Sólidos totales (50-70%):** Los sólidos sedimentables se acumulan en el fondo como lodos, mientras que los sólidos flotantes son retenidos en la capa superior, logrando una reducción eficiente (Metcalf & Eddy, 2013).

### 3.7.2 *Tanque Imhoff*

Algunas propiedades fisicoquímicas y microbiológicas que se optimizan mediante el sistema de tratamiento en los tanques Imhoff son las siguientes:

- **Aceites y grasas (mg/L):** La eliminación de aceites y grasas es crucial para prevenir obstrucciones en el sistema de tratamiento. Los tanques Imhoff pueden remover entre un 50% y un 80% de estos contaminantes (Serrano et al., 2022).
- **Coliformes fecales (UFC/mL):** Los tanques Imhoff son muy eficaces en la eliminación de coliformes fecales, logrando tasas de remoción del 90% al 99%, lo que es esencial para la salud pública (Martínez et al., 2022).
- **Coliformes totales (UFC/mL):** La remoción de coliformes totales también es alta, con reducciones de hasta el 99%, lo que permite evaluar la efectividad del tratamiento de aguas residuales (López & Ramírez, 2020).
- **Conductividad:** Se espera que los tanques Imhoff reduzcan la conductividad del agua entre un 10% y un 30%, debido a la disminución de sólidos disueltos (González & Pérez, 2020).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOs):** Este parámetro clave para medir la materia orgánica biodegradable puede reducirse entre un 70% y un 85% en los tanques Imhoff, mejorando la calidad del efluente (Vega et al., 2021).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Los tanques Imhoff pueden reducir la DQO entre un 60% y un 80%, lo que indica una mejora en la calidad del efluente (Rincón & Salazar, 2019).
- **Fosfatos (mg/L):** La eliminación de fosfato es fundamental para prevenir la eutrofización, y los tanques Imhoff pueden eliminar entre un 40% y un 60% de estos compuestos (Fernández & Castro, 2021).
- **Nitritos:** Se logra una remoción del 50% al 80% de nitritos, lo que es importante para prevenir la toxicidad en los ecosistemas acuáticos (Serrano et al., 2022).
- **Nitratos:** La reducción de nitratos en el efluente es vital, y los tanques Imhoff pueden lograr una disminución del 10% al 30% en estos compuestos (Martínez et al., 2022).
- **Sólidos totales (mg/L):** Los tanques Imhoff pueden remover entre un 50% y un 70% de los sólidos totales, mejorando así la calidad del efluente (Vega et al., 2021).

## Capítulo 4

### Análisis y Discusión de los Resultados

#### 4.1 Punto de muestreo

En la unidad educativa “Hualcopo Duchicela” se identificaron diversos puntos generadores de aguas residuales, cuya recolección y muestreo se realizó en el punto de convergencia considerado idóneo por el GAD parroquial y las autoridades educativas.

La **Figura 2** muestra la ubicación del punto de muestreo en la Unidad Educativa, dentro de la parroquia rural Columbe. Se seleccionó debido a la falta de alcantarillado, lo que provoca un vertido directo de aguas servidas hacia un cauce cercano. Dicho punto de muestreo está ubicado en la zona sur oeste de la institución, aguas abajo de los servicios higiénicos y sus coordenadas fueron obtenidas mediante GPS y herramientas SIG para mayor precisión.

Datos geográficos del punto de muestreo (UTM) son:

- Este (X): 753362
- Norte (Y): 9731113

**Figura 2.** Ubicación del punto de muestreo



Fuente: Autor

Durante el reconocimiento de campo, se identificó que las aguas residuales están conectadas a un sistema de drenaje que desemboca en un pozo séptico. Aunque diseñado para realizar un tratamiento, su funcionalidad está gravemente comprometida debido al deterioro y la falta de mantenimiento. La inspección evidenció filtraciones y fallas operativas, lo que ha generado desbordamientos con consecuencias significativas. Por ende, las aguas servidas filtradas se descargan directamente en un cuerpo hídrico adyacente a la institución, intensificando el impacto ambiental y aumentando el riesgo de contaminación del recurso hídrico.

#### 4.2 Caracterización de las aguas residuales

La caracterización de las aguas residuales recolectadas en la Unidad Educativa se llevó a cabo mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, cuyos resultados fueron comparados con la normativa establecida para descargas en cuerpos de agua dulce como se indica en la **Tabla 10**. Los resultados reflejan los promedios calculados para cada parámetro evaluado a partir de las mediciones efectuadas a cada muestreo en el **Anexo 4** se indican los datos individuales semanales obtenidos.

**Tabla 10.** Resultados de la caracterización de las aguas residuales

<b>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</b>	<b>Valor medido</b>	<b>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo 097-A</b>	<b>Límites de descarga al sistema de alcantarillado Público. Acuerdo 097-A</b>
Aceites y grasas (mg/L)	66,67	30	70
Coliformes fecales (UFC/mL)	23500	20	-
Coliformes totales (UFC/mL)	104250	-	-
Conductividad (mS/cm)	2,43	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	142	100	250
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	235	200	500
Fosfatos (mg/L)	11,60	-	-
Nitratos (mg/L)	5,20	10	-
Nitritos (mg/L)	0,79	10	-
Potencial de hidrógeno - pH	8,46	6-9	6-9
Sólidos totales (mg/L)	1285,50	1600	1600

**Fuente:** Autor

Basado en la **Tabla 10**, los parámetros que sobrepasaron la normativa vigente fueron:

- Aceites y grasas
- Coliformes fecales
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
- Demanda química de oxígeno (DQO).

La alta concentración de aceites y grasas indica un impacto considerable derivado de las actividades realizadas en la institución, posiblemente por el desecho de grasas de cocina y productos oleosos que no se manejan de manera adecuada antes de su eliminación. Esto puede deberse a la falta de sistemas de tratamiento a estos productos que permitan filtrar y tratar estos contaminantes.

La elevada presencia de coliformes fecales en las aguas residuales de la unidad educativa es un alarmante de contaminación microbiológica que demanda atención inmediata. Estos niveles de contaminación, si no se tratan adecuadamente, pueden generar graves problemas ambientales al descargarse en los ríos de la microcuenca, afectando la calidad del agua superficial y subterránea.

Es importante destacar que, en el entorno donde se llevó a cabo el muestreo, en determinados días se observaron animales de granja en las cercanías. Esto genera la posibilidad de que el estiércol de estos animales contribuya a la presencia de coliformes fecales en las aguas, dado que el punto de descarga es abierto. En estas condiciones, los microorganismos presentes en los excrementos pueden alcanzar la fuente de agua mediante escorrentías superficiales, agravando la contaminación microbiológica.

Los valores elevados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) son indicadores fundamentales de la carga de materia orgánica presente en el agua; reflejan un nivel significativo de contaminación, proveniente de diversas fuentes. La acumulación de residuos orgánicos, como restos de alimentos, materia vegetal y desechos generados por las actividades diarias en la institución, puede incrementar notablemente la DBO<sub>5</sub> y la DQO. Sin una gestión adecuada de estos residuos, las aguas residuales pueden favorecer la descomposición de materia orgánica, lo que incrementa la demanda de oxígeno necesaria para su degradación.

Con estos resultados, es imperativo implementar medidas de tratamiento y gestión adecuadas para las aguas residuales antes de su descarga en cuerpos de agua dulce.

El tratamiento de las aguas residuales antes de su descarga en cuerpos de agua dulce es crucial para minimizar el impacto ambiental y proteger los ecosistemas acuáticos. Las aguas residuales sin tratar contienen altas concentraciones de contaminantes, como materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fosfato), patógenos y metales pesados, que pueden alterar significativamente la calidad del agua, afectando la biodiversidad y causando fenómenos como la eutrofización (Metcalf & Eddy, 2014).

Además, las aguas contaminadas representan un riesgo directo para la salud pública. La presencia de microorganismos patógenos, como coliformes fecales, puede provocar brotes de enfermedades de origen hídrico, tales como la diarrea, la hepatitis y el cólera, especialmente en comunidades que dependen de estos cuerpos de agua para su consumo y actividades cotidianas (Von Sperling, 2007).

### **4.3 Elección de la tecnología de tratamiento**

#### ***4.3.1 Tratamiento primario***

Basado en los resultados obtenidos del muestreo de las aguas residuales, se optó por seleccionar el tanque homogeneizador como tratamiento primario, debido a la variabilidad observada en las características microbiológicas y fisicoquímicas de las muestras analizadas. En cada muestreo, los parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos totales disueltos (STD) presentaron fluctuaciones significativas, lo que podría afectar la eficiencia de los procesos de tratamiento. La implementación del tanque homogeneizador permite mitigar estas variaciones al mezclar uniformemente el efluente, logrando una composición más estable y optimizando la operación de unidades de tratamiento posteriores, como los procesos biológicos o de clarificación. Asimismo, este sistema contribuye a prevenir la formación de zonas estancadas y mejora la distribución de los contaminantes dentro del flujo, lo que favorece una degradación más eficiente de la materia orgánica en etapas posteriores del tratamiento.

Se evaluó la posibilidad de incorporar una trampa de grasas como parte del tratamiento primario. Sin embargo, los resultados del muestreo mostraron que los niveles de aceites y grasas en el agua residual eran bajos. Por lo tanto, un tratamiento secundario sería suficiente para ajustarlos, sin que representen una carga significativa para el sistema de tratamiento.

### 4.3.2 Tratamiento secundario

Se realizó una selección basada en factores ponderados, utilizando la escala de puntaje en base a criterios positivos y negativos de la **Tabla 4** para los tratamientos considerados como óptimos para la investigación, teniendo en cuenta las siguientes tecnologías:

- Tanque Séptico.
- Tanque Imhoff.
- Lodos Activados.
- Reactor U.A.S.B.
- Filtros percoladores

La **Tabla 11** indica la selección basada en factores ponderados para cada tecnología puesta a evaluación en diversos aspectos:

**Tabla 11.** Valoración de parámetros para la selección del tratamiento

Factor	Peso	Tanque séptico		Tanque Imhoff		Lodos activados		Reactor U.A.S.B.		Filtros percoladores	
		E	P	E	P	E	P	E	P	E	P
Rendimiento	100	2	200	2	200	2	200	2	200	2	200
Costo económico	100	4	400	2	200	2	200	0	0	2	200
Costo de mantenimiento	90	2	180	2	180	2	180	-2	-200	0	0
Costo de instalación	80	4	320	4	320	2	180	0	0	0	0
Costo de operación	80	4	320	2	160	2	160	2	160	2	160
Espacio	70	4	280	2	140	2	140	0	0	0	0
Tiempo de tratamiento	50	2	100	4	200	4	200	4	200	4	200
Capacidad al crecimiento demográfico	50	0	0	2	100	2	100	2	100	2	100
<b>Total (<math>\Sigma</math>)</b>		1800		1500		1360		460		860	
Orden de prioridad		1		2		3		5		4	

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos a través del método de factores ponderados para la selección del sistema más adecuado de tratamiento de aguas residuales indican que los tanques sépticos representan la opción más viable. Tras evaluar las variables asociadas a cada tecnología, se concluye que los tanques sépticos sobresalen en términos de costo, inversión inicial y facilidad de operación en comparación con otros sistemas de tratamiento.

Además, el análisis reveló que el tanque Imhoff se presenta como una alternativa viable, especialmente en escenarios de crecimiento poblacional significativo comparado al tanque séptico. Este sistema podría ser considerado en función de la demanda futura, dado su diseño que permite una mayor capacidad de tratamiento y la separación eficiente de sólidos y líquidos.

La elección de estos sistemas de tratamiento debe fundamentarse no solo en factores económicos, sino también en su capacidad para adaptarse a las necesidades cambiantes de la comunidad. En este sentido, se considera fundamental evaluar la factibilidad económica y técnica del proyecto. Desde la perspectiva del GAD, se prioriza la implementación de sistemas que ofrezcan una relación costo-beneficio favorable, aprovechando los recursos financieros disponibles y asegurando su sostenibilidad a largo plazo mediante el uso de tecnologías locales y de bajo mantenimiento. Por otro lado, la ONG, que financiará el proyecto, contribuirá con apoyo técnico especializado y garantizará los recursos necesarios para la implementación de la tecnología adecuada.

#### ***4.3.3 Tratamiento terciario***

La selección de un campo de infiltración como tratamiento terciario para aguas residuales es altamente factible, especialmente en zonas rurales donde hay disponibilidad de espacio y se busca una solución económica y sostenible. Uno de los principales beneficios de este sistema es su compatibilidad con un tanque séptico. El tanque séptico proporciona un tratamiento efectivo al sedimentar los sólidos y permitir la digestión anaerobia de los residuos, reduciendo así la carga orgánica del efluente (EPA, 2012). El agua que sale del tanque séptico, al estar parcialmente tratada, puede ser adecuadamente gestionada mediante un campo de infiltración, donde se llevarán a cabo procesos adicionales de filtración y tratamiento biológico en el suelo. Además, el campo de infiltración es particularmente adecuado para zonas rurales, donde las comunidades pueden no contar con acceso a tecnologías avanzadas y costosas para el tratamiento de aguas residuales.

#### 4.4 Proyección para el diseño del sistema de tratamiento

Una proyección de al menos 20 años no solo garantiza su funcionalidad y eficiencia, sino que también promueve un enfoque proactivo y responsable en la gestión del agua, asegurando que las necesidades presentes y futuras de la comunidad sean atendidas de manera adecuada. Teniendo así la siguiente **Tabla 12**:

**Tabla 12.** Datos para el diseño del sistema

<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Población (año 2025)	275
Tasa de crecimiento anual	1,42%
Población (año 2045)	353
Dotación (L/hab.día)	150
Porcentaje de contribución	4,5%
Caudal de diseño sobredimensionado (m <sup>3</sup> /día)	2,38

**Fuente:** Autor

#### 4.5 Diseño del tanque homogeneizador

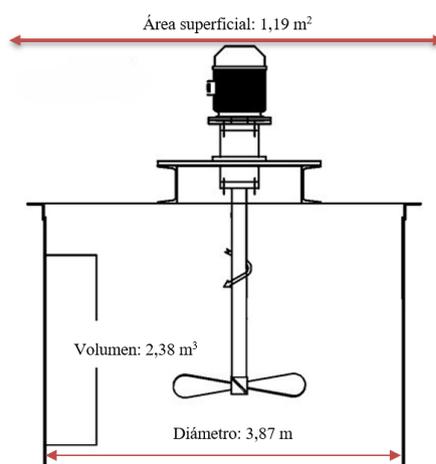
Los datos y parámetros del tanque de homogeneización están especificados en la **Tabla 13**, mientras que su diseño puede observarse en la **Figura 3**.

**Tabla 13.** Dimensionamiento del tanque homogeneizador

<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Ecuación</b>
Caudal ( $\frac{m^3}{h}$ )	Q	0,10	(1)
Área del tanque (m <sup>2</sup> )	A	1,19	(2)
Diámetro del tanque (m)	Φ	3,87	(3)
Radio del tanque (m)	r	0,62	(4)
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	V	2,38	(5)
Diámetro del impulsor (m)	di	1,29	(6)
Ancho de las paletas (m)	q	0,77	(7)
Longitud de las paletas (m)	L	0,97	(8)
Número de deflectores	W	4	-
Ancho de los deflectores (m)	Wb	0,39	(9)

**Fuente:** Autor

**Figura 3.** Esquema del diseño del tanque homogeneizador



Fuente: **Autor**

#### 4.6 Diseño del tanque séptico

Las propiedades y valores obtenidos de cada una para el diseño del tanque séptico se detallan en la **Tabla 14**, y las dimensiones de este en la **Figura 4**.

**Tabla 14.** Dimensionamiento del tanque séptico

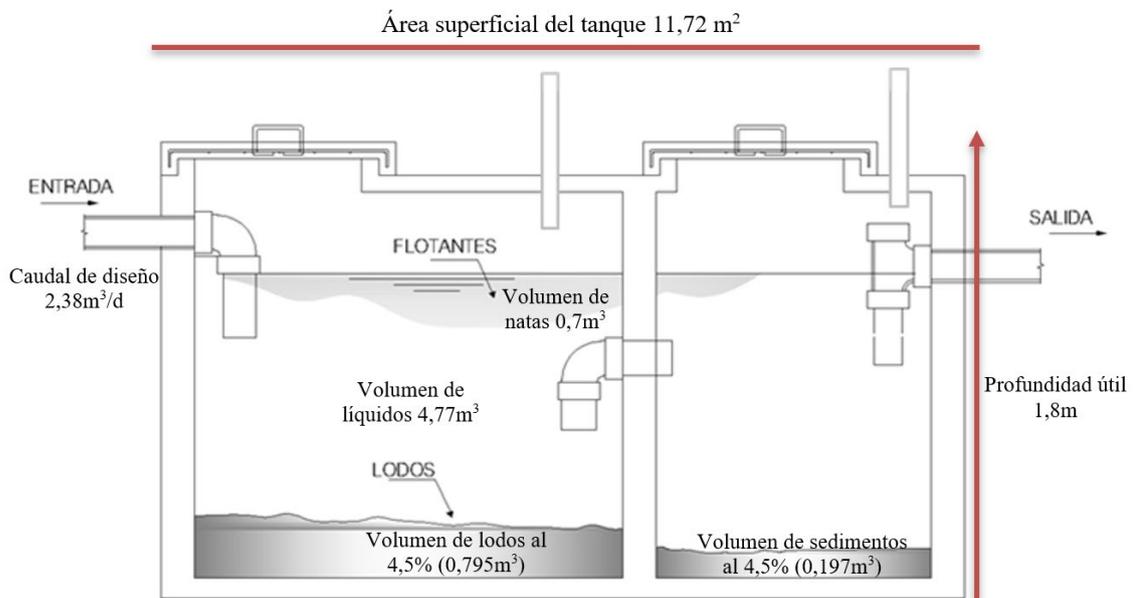
Parámetro	Nomenclatura	Valor	Ecuación
Caudal promedio (m <sup>3</sup> /d)	Q <sub>p</sub>	2,38	(1)
Tiempo de retención hidráulica (día)	Pr	0,08	(10)
Volumen de sedimentación (m <sup>3</sup> )	V <sub>s</sub>	4,39	(11)
Volumen de almacenamiento de lodos (m <sup>3</sup> )	V <sub>d</sub>	17,66	(12)
Volumen de natas (m <sup>3</sup> )	V <sub>n</sub>	0,7	(13)
Profundidad máxima de espuma	H <sub>e</sub>	0,06	(14)
Volumen útil (m <sup>3</sup> )	V <sub>T</sub>	22,74	(15)
Profundidad útil (m)	P <sub>f</sub>	1,8	-
Área superficial del tanque (m <sup>2</sup> )	A	12,63	(16)
Profundidad mínima de saturación (m)	H <sub>s</sub>	0,35	(17)
Profundidad libre de lodo (m)	H <sub>o</sub>	0,3	(18)
Profundidad de espacio libre (m)	H <sub>L</sub>	0,4	(19)
Profundidad de digestión de lodos (m)	H <sub>d</sub>	1,4	(20)
Profundidad total efectiva (m)	H <sub>T</sub>	0,46	(21)
Volumen de tratamiento de líquidos (m <sup>3</sup> )	V <sub>I</sub>	4,77	(22)
Volumen total (m <sup>3</sup> )	V <sub>L</sub>	6,46	(23)

Fuente: **Autor**

El volumen que deberá tener el tanque séptico, el cual tiene un sobredimensionamiento para 20 años como mínimo será de 6,46 m<sup>3</sup>.

La ONG (World Vision) podrá decidir en adquirir un tanque séptico con una capacidad de **7000 litros o superior**, en respuesta a los cálculos realizados durante la etapa de diseño, donde se determinó un volumen necesario de **6460 litros**. Este sobredimensionamiento fue planeado estratégicamente para garantizar la sostenibilidad y eficacia del sistema a largo plazo.

**Figura 4.** Esquema del diseño del tanque séptico



**Fuente:** Autor

Al incorporar una capacidad adicional, el diseño prevé el crecimiento poblacional y las posibles variaciones en la generación de aguas residuales, asegurando que el sistema funcione eficientemente durante al menos una década sin necesidad de modificaciones significativas. Esta decisión también refuerza el compromiso de la ONG con la gestión responsable y sostenible de los recursos, en línea con su objetivo de preservar el medio ambiente y mejorar la calidad de vida de las comunidades beneficiadas.

#### 4.7 Diseño del tanque Imhoff

Los parámetros y los valores obtenidos del dimensionamiento del tanque Imhoff se muestran en la **Tabla 15**, y sus dimensiones se ilustran en la **Figura 5**.

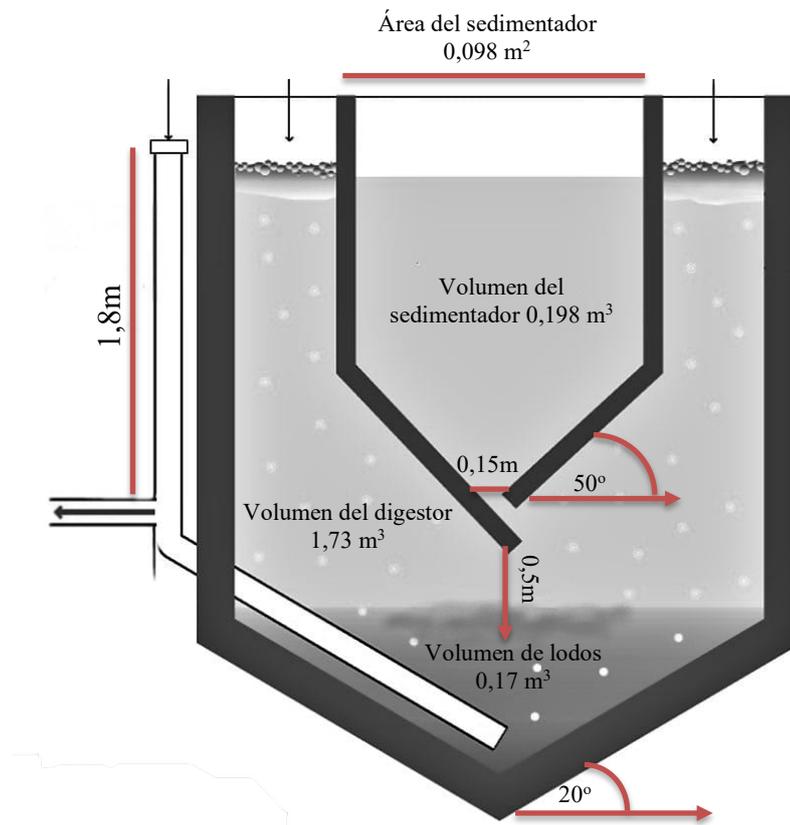
**Tabla 15.** Dimensionamiento del tanque Imhoff

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidad	Ecuación
Caudal	Qp	0,10	$\frac{m^3}{h}$	(1)
Carga superficial	Cs	1	$\frac{m^3}{m^2 \times h}$	(24)
Área del sedimentador	As	0,10	m <sup>2</sup>	(25)
Período retención hidráulica	R	2	h	(26)
Volumen del sedimentador	Vs	0,198	m <sup>3</sup>	(27)
Carga hidráulica	Chu	250	$\frac{m^3}{m \times d}$	(28)
Longitud de salida del vertedero	Lv	0,01	m	(29)
Factor de capacidad relativa	fcr	1,4		(30)
Volumen de digestión	Vd	1,73	m <sup>3</sup>	(31)
Tiempo de digestión	Td	76	d	(32)
Densidad del lodo	$\rho_{LODO}$	1,4	$\frac{kg}{L}$	(33)
Sólidos en suspensión	SS	90	$\frac{g \times SS}{hab \times d}$	(34)
Masa de sólidos que conforman lodos	Msd	0,251	$\frac{kg \times SS}{d}$	(35)
Carga de sólidos que ingresan al sedimentador	C	0,772	$\frac{kg \times SS}{d}$	(36)
Volumen diario de lodos digeridos	Vld	2.240	$\frac{L}{d}$	(37)
Volumen de lodos a extraerse	Vel	0,17	m <sup>3</sup>	(38)
Profundidad de aplicación	Ha	0,6	m	(39)
Área del lecho de secado	Als	0,284	m <sup>2</sup>	(40)

Fuente: Autor

El tanque Imhoff se presenta como una alternativa secundaria al tanque séptico, diseñado para mejorar la sedimentación y la descomposición anaeróbica de los sólidos. Este sistema consta de dos compartimentos: el primero es un tanque de sedimentación donde los sólidos se asientan y se descomponen, mientras que el segundo es una cámara de digestión anaeróbica, donde los lodos generados son sometidos a un proceso de descomposición biológica (Rincón & Salazar, 2019).

**Figura 5.** Esquema del diseño del tanque Imhoff



**Fuente:** Autor

El tratamiento de aguas residuales es un aspecto fundamental en la gestión ambiental, especialmente en áreas donde la infraestructura de saneamiento es limitada. En este contexto, el tanque séptico ha sido tradicionalmente la solución más común para el tratamiento inicial de aguas negras (Vega et al., 2021). Sin embargo, se ha identificado que su funcionamiento puede ser mejorado mediante la implementación de sistemas alternativos, como el tanque Imhoff (González & Pérez, 2020).

#### 4.8 Diseño del campo de infiltración

Para la propuesta de implementación del campo de infiltración, se utilizaron valores hipotéticos para el coeficiente de permeabilidad del suelo y el gradiente hidráulico, basados en estudios previos y características típicas de suelos franco-arenosos. Por otro lado, el valor del caudal se obtuvo directamente a partir de los datos recopilados durante el muestreo realizado en el sitio. Con esta información, se obtuvo los siguientes valores reflejados en la **Tabla 16:**

**Tabla 16.** Dimensionamiento del campo de infiltración

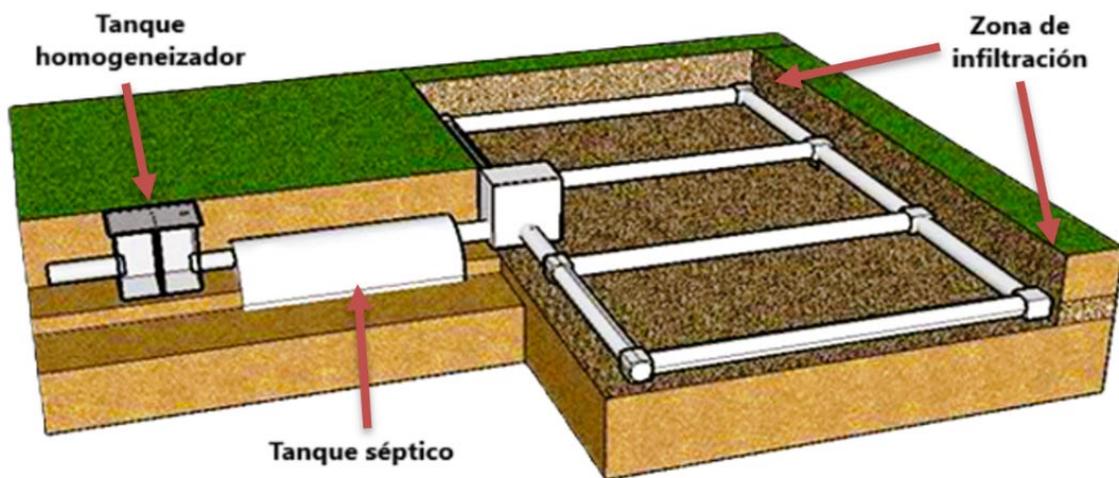
Parámetro	Nomenclatura	Valor	Ecuación
Caudal ( $\frac{m^3}{h}$ )	Q	0,10	(1)
Permeabilidad del suelo – franco arenoso según características generales de Columbe (mm/h)	K	10 a 20	-
Numero de zanjas	Nz	4	-
Ancho de zanjas (m)	Az	0,5 a 1	-
Área de superficie del campo de infiltración (m <sup>2</sup> )	A	5	(41)
Longitud de zanjas (m)	L	2,5	(42)
Profundidad de infiltración (m)	D	2,48	(43)

Fuente: Autor

#### 4.9 Esquema del sistema propuesto

El sistema propuesto se compone de tres unidades principales: un tanque de homogeneización, un tanque séptico y un campo de infiltración. Este esquema ha sido diseñado específicamente para el tratamiento de aguas residuales generadas por una unidad educativa de la parroquia Columbe, respondiendo a la necesidad de gestionar de manera eficiente los desechos líquidos. tal como se ilustra en la **Figura 7**.

**Figura 6.** Diagrama del sistema propuesto



Fuente: Autor

El tanque de homogeneización desempeña un papel crucial al recibir las aguas residuales y permitir que se mezclen de manera uniforme, lo que ayuda a estabilizar las variaciones en

la carga de contaminantes. Esto garantiza un tratamiento más efectivo en las etapas posteriores.

El tanque séptico es fundamental para la eliminación de sólidos y grasas a través de un proceso de sedimentación y análisis anaeróbico. En este tanque, los sólidos se depositan en el fondo, donde los microorganismos descomponen la materia orgánica, reduciendo el volumen de lodos y produciendo un efluente relativamente limpio que se dirige al siguiente paso del tratamiento.

Finalmente, el campo de infiltración permite que el efluente tratado se filtre a través del suelo, donde se lleva a cabo un proceso adicional de purificación. El suelo actúa como un medio de filtración natural, eliminando contaminantes restantes y contribuyendo a la protección de los cuerpos de agua cercanos.

#### 4.10 Corrección de los parámetros tratados por el tanque séptico

Para estimar la eliminación de contaminantes en el sistema de tanques sépticos se consideró lo siguiente basado en la metodología. Después de calcular los porcentajes de remoción de contaminantes, los resultados reflejados en la **Tabla 17** muestran las concentraciones finales de los parámetros evaluados al finalizar el proceso de tratamiento.

**Tabla 17.** Resultados post tratamiento por el tanque séptico

<b>Parámetro</b>	<b>% Remoción</b>	<b>% Seleccionado</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Aceites y grasas (mg/L)	50-80%	60%	66,67	26,67
Coliformes totales (UFC/mL)	30-50%	40%	104250	62550
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	30-50%	40%	142	85,2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	20-40%	30%	235	164,5
Fosfatos (mg/L)	10-20%	15%	11,60	9,86
Sólidos totales (mg/L)	50-70%	60%	1285,50	514,2

**Fuente:** Autor

Se evidencia que, tras la aplicación del tratamiento implementado, la mayoría de los contaminantes que inicialmente presentaban valores superiores bajan a valores óptimos para su posterior descargar. Obteniendo así la siguiente **Tabla 18** donde se reflejan los datos de cada parámetro post tratamiento y comparándolos con los LMP del Acuerdo 097-A para descarga de agua residual a un cuerpo de agua dulce:

**Tabla 18.** Comparativa de resultados post tratamiento del tanque séptico

<b>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</b>	<b>Valor resultante</b>	<b>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo 097-A</b>	<b>Cumple (SI/NO)</b>
Potencial de hidrógeno - pH	8,46	6-9	SI
Conductividad (mS/cm)	2,43	-	-
Sólidos totales (mg/L)	514,2	1600	SI
Fosfatos (mg/L)	9,86	-	-
Nitratos (mg/L)	5,20	10	SI
Nitritos (mg/L)	0,79	10	SI
Aceites y grasas (mg/L)	26,67	30	SI
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	85,2	100	SI
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	164,5	200	SI
Coliformes totales (UFC/mL)	62550	-	-

Fuente: Autor

#### 4.11 Corrección de los parámetros tratados por el tanque Imhoff

Para estimar la eliminación de contaminantes en el sistema de tanques Imhoff, se consideraron los siguientes aspectos basados en la metodología. Tras calcular los porcentajes de remoción de contaminantes, los resultados presentados en la **Tabla 19** muestran las concentraciones finales de los parámetros evaluados al concluir el proceso de tratamiento.

**Tabla 19.** Resultados post tratamiento por el tanque Imhoff

<b>Parámetro</b>	<b>% Remoción</b>	<b>% Seleccionado</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
Aceites y grasas (mg/L)	50-80%	60%	66,67	26,67
Coliformes totales (UFC/mL)	90-99%	95%	104250	5212,5
Conductividad (mS/cm)	10-30%	20%	2,43	1,94
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	70-85%	75%	142	35,5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	60-80%	70%	235	70,5
Fosfatos (mg/L)	40-60%	50%	11,60	5,8
Nitratos (mg/L)	10-30%	20%	5,20	4,16
Nitritos (mg/L)	50-80%	65%	0,79	0,276
Sólidos totales (mg/L)	50-70%	60%	1285,50	514,2

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos tras el proceso de tratamiento mediante el tanque Imhoff muestran una reducción significativa en los niveles de los contaminantes presentes inicialmente, alcanzando concentraciones que cumplen con los estándares requeridos para su vertido. En la **Tabla 20** se detallan los valores finales de cada parámetro evaluado después del tratamiento, contrastados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargas en cuerpos de agua dulce:

**Tabla 20.** Comparativa de resultados post tratamiento del tanque Imhoff

<b>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</b>	<b>Valor resultante</b>	<b>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Acuerdo 097-A</b>	<b>Cumple (SI/NO)</b>
Potencial de hidrógeno - pH	8,46	6-9	SI
Sólidos totales (mg/L)	514,2	1600	SI
Conductividad (mS/cm)	1,94	-	-
Fosfatos (mg/L)	5,8	-	-
Nitratos (mg/L)	4,16	10	SI
Nitritos (mg/L)	0,276	10	SI
Aceites y grasas (mg/L)	26,67	30	SI
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	35,5	100	SI
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	70,5	200	SI
Coliformes totales (UFC/mL)	5212,5	-	-

**Fuente:** Autor

## Conclusiones

- La evaluación del punto de descarga de aguas residuales en la unidad educativa “Hualcopo Duchicela” ubicada en la comunidad de Columbe ha demostrado que la infraestructura actual es insuficiente para gestionar el volumen de aguas residuales generadas. Esta situación ha conducido a un manejo inadecuado del recurso hídrico, provocando la contaminación de fuentes de agua cercanas y poniendo en riesgo la salud de la población.
- Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados en las aguas residuales generadas dentro de la unidad educativa “Hualcopo Duchicela” indican que los niveles de DBO<sub>5</sub> (142 mgO<sub>2</sub>/L), DQO (235 mgO<sub>2</sub>/L) y coliformes fecales (2,35x10<sup>4</sup> UFC/mL) exceden significativamente los límites establecidos por las normativas nacionales. Estos resultados indican una grave contaminación, que no solo representa un riesgo para la salud pública, sino que también puede tener efectos perjudiciales en los ecosistemas locales.
- La propuesta de implementación de un tratamiento primario (tanque homogeneizador), tratamiento secundario (tanque séptico) y un tratamiento terciario (campo de infiltración) para la institución “Hualcopo Duchicela”, proyectado para 353 estudiantes en 20 años, se basó en un análisis técnico que considera el volumen de desechos y la capacidad necesaria para un tratamiento eficiente. La combinación de estos procesos permite mejorar la calidad del efluente antes de su disposición final, promoviendo la protección de los recursos hídricos y la salud pública en la comunidad educativa y su entorno.
- La alternativa de un tanque Imhoff en el tratamiento secundario representa una opción eficiente para el manejo de aguas residuales en la parroquia Columbe. Su diseño permite una mayor capacidad de sedimentación y digestión de lodos en comparación con un tanque séptico convencional, optimizando la reducción de la carga contaminante antes de su disposición final. Esta alternativa es particularmente adecuada para escenarios de crecimiento poblacional o aumento en el caudal de aguas residuales, garantizando un tratamiento más avanzado a cambio de un mayor coste de implementación, operativo y de mantenimiento.

## **Recomendaciones**

Se recomienda que las autoridades locales y las instituciones colaboradoras implementen una estrategia de gestión integral que incluya la construcción del sistema de tratamiento propuesto y campañas de sensibilización sobre el manejo adecuado de las aguas residuales. La concienciación de la comunidad es vital, ya que un enfoque participativo puede mejorar la aceptación del sistema y fomentar prácticas responsables en el uso del agua. Además, se sugiere establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua residual tratada para evaluar la efectividad del sistema y realizar ajustes según sea necesario, garantizando así que se cumplan los estándares de calidad establecidos.

Se puede apoyar la implementación de humedales artificiales como post tratamiento, es una solución efectiva y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en la comunidad de Columbe, especialmente aquellas con alta carga de coliformes. Los humedales utilizan procesos naturales de filtración y purificación, y se ha demostrado que son eficaces en la eliminación de patógenos. Para maximizar su efectividad, se sugiere la plantación de especies que contribuyan a la reducción de coliformes y mejoren la calidad del agua para el caso particular de esta investigación.

## Referencias Bibliográficas

- Agencia de Protección Ambiental (EPA).** (2002). *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales in situ* . Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).** (2012). *Sistemas de tanque séptico para aplicaciones de alto caudal* . Recuperado de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs-00-079.pdf>
- American Public Health Association (APHA).** (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). Washington, DC: APHA.
- American Society of Civil Engineers (ASCE).** (2017). Design and construction of urban stormwater management systems. ASCE Standard.
- APHA, AWWA, & WPCF.** (2019). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Sustainability (Switzerland)*, 17(1). Recuperado de <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y>
- Bastidas, J., & Ramos, R.** (2021). Impacto de las aguas residuales en la calidad del agua en Ecuador. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 35(2), 123-134.
- Castañeda, J., Rodríguez, D., & Pérez, A.** (2020). *Diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales para zonas rurales*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional.
- Comisión Nacional Del Agua.** (2015). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. In *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento* (1st ed.).
- Crites, R., y Tchobanoglous, G.** (1998). *Sistemas de gestión de aguas residuales pequeños y descentralizados* . McGraw-Hill.
- Crites, R., y Tchobanoglous, G.** (2014). *Sistemas de gestión de aguas residuales pequeños y descentralizados* (3.ª ed.). McGraw-Hill.

- Donoso-Bravo, A., Escobar, R., & Ferrer, I.** (2013). Diseño y operación de reactores anaerobios. *Revista Ingeniería Ambiental*.
- Environmental Protection Agency (EPA).** (2010). Guidelines for water reuse. Washington, D.C.: EPA.
- Environmental Protection Agency (EPA).** (2020). Grease traps and interceptors: Design and maintenance. EPA Guidelines.
- Esparza-Soto, M., González, L., & León, R.** (2013). Tratamiento de agua residual industrial en un reactor UASB. *Revista Ingeniería Ambiental*.
- Fernández, J., & Castro, M.** (2021). *Innovaciones en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Editorial Ambiental.
- Garrido, J., Ramírez, C., & Torres, M.** (2021). Contaminación ambiental en América Latina: Situación y perspectivas.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Columbe (GAD Columbe).** (2024). *Características generales del territorio*. Recuperado de <https://columbe.gob.ec/caracteristicas-generales/>
- González, F., Martínez, A., & Ortega, L.** (2018). Impacto de la contaminación del agua en las cuencas hidrográficas de Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ciencias Ambientales*, 15(2), 105-118. <https://doi.org/10.1016/j.reca.2018.04.001>
- González, L., & Pérez, R.** (2020). *Alternativas para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales*. *Revista de Ingeniería Sanitaria*, 15(3), 45-58.
- González-Ramírez, L. C., Vázquez, C. J., Chimbaina, M. B., Djabayan-Djibeyan, P., Prato-Moreno, J. G., Trelis, M., & Fuentes, M. V.** (2021). Occurrence of enteroparasites with zoonotic potential in animals of the rural area of San Andres, Chimborazo, Ecuador. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 26, 100630. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2021.100630>
- Guanquiza Tello, L., & Antúnez Sánchez, A.** (2019). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador: Necesidad de su reversión desde las políticas públicas con

enfoque bioético. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 5(9). Recuperado de

<https://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3941756001/html/>

**Langergraber, G., & Muellegger, E.** (2005). Ecological Sanitation - A way to solve global sanitation problems? *Environment International*, 31(3), 433–444. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.006>

**López, A., & Ramírez, S.** (2020). *Eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales: Un análisis comparativo*. *Journal of Water Resources*, 12(1), 23-34.

**Mardani, A., Jusoh, A., Khalifah, Z., & Zavadskas, E. K.** (2017). Sustainable energy: A review of multi-criteria decision-making methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 803-811. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.061>

**Martínez, P., Vargas, J., & Gómez, L.** (2022). *Producción de biogás en sistemas de tratamiento anaeróbico de aguas residuales*. *Energía y Sostenibilidad*, 19(4), 102-115.

**Martos López, Á.** (2016). La importancia del agua en nuestro planeta. *The Water Importance on Our Planet*.

**Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A.** (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652-659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>

**Metcalf & Eddy.** (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5ta ed.). McGraw-Hill Education.

**Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).** (2016). *Recomendaciones para la selección de tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas en la República de El Salvador*. Recuperado de <https://www.marn.gob.sv>

- Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE).** (2020). *Informe sobre la calidad del agua en Ecuador 2020*. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Recuperado de <https://www.ambiente.gob.ec>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE).** (2015). *Acuerdo Ministerial No. 097-A: Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes al Recurso Agua*. Registro Oficial No. 387, 4 de noviembre de 2015. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec>
- Nour, M. A., Fathy, A., & Shafik, A.** (2020). A new integrated approach for selecting the best wastewater treatment system based on a multi-criteria decision-making technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(2), 1521-1535. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06907-0>
- Organización Mundial de la Salud (OMS).** (2006). *Directrices para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises* (vol. 1-4). WHO Press.
- Organización Mundial de la Salud (OMS).** (2019). *Gestión segura de aguas residuales: Recomendaciones sanitarias*. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS).** (2021). *Aguas residuales y salud: Directrices para su gestión*. Ginebra, Suiza: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS).** (2022). *Guías para la calidad del agua potable: Recomendaciones sanitarias mundiales*. Ginebra: OMS.
- Piguave-Reyes, J., Castellano-González, M., Macias-Avia, A., Vite-Solórzano, F., Ponce-Pibaque, M., & Ávila-Ávila, J.** (2019). Calidad microbiológica del agua subterránea como riesgo epidemiológico en la producción de enfermedad diarreica infantil. *Redalyc*, 47(2), 22. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3556>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).** (2020). *Calidad del agua dulce y salud de los ecosistemas*. Nairobi: PNUMA.
- Rincón, C., & Salazar, A.** (2019). *Diseño y operación de tanques Imhoff en el tratamiento de aguas residuales*. *Ingeniería y Desarrollo*, 27(2), 89-99.

- Samaniego Marin, W. J., & Núñez Orozco, M. Y.** (2022). *Prediseño De Una Planta De Tratamiento De Aguas Residuales De La Empresa De Lácteos El Pajona (título de ingeniería)* (Vol. 3, Issue 6). Universidad Nacional de Chimborazo. <https://doi.org/10.56519/vysw5904>
- Serrano, M., Díaz, R., & Torres, F.** (2022). *Impacto del tratamiento de aguas residuales en la salud pública*. *Salud y Medio Ambiente*, 10(2), 15-25.
- Solarte, J.** (2017). Evaluación de la digestión anaerobia en reactores UASB. *Revista Ingeniería y Sostenibilidad*.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D.** (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D.** (2015). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4ta ed.). Nueva York: McGraw-Hill Education.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA).** (2011). *Guidelines for water reuse*. EPA/600/R-12/618. Recuperado de <https://www.epa.gov>
- UNATSABAR.** (2005). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración*. Recuperado de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf)
- UNESCO, ONU-Agua.** (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*. París: UNESCO.
- UNESCO.** (2017). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: Aguas residuales, el recurso desaprovechado*. París: UNESCO.
- United Nations Environment Programme (UNEP).** (2010). *Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development*. UNEP.

- Vega, J., López, F., & Castro, T.** (2021). *Sistemas de saneamiento en comunidades rurales: Retos y oportunidades*. *Revista de Ciencias Ambientales*, 18(1), 67-82.
- Von Sperling, M.** (2007). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. IWA Publishing.
- World Health Organization (WHO).** (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater (Vol. 1-4)*. WHO Press.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S.** (2014). A New Additive Ratio Assessment Method for Decision-Making. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 48(3), 5-20.

## ANEXOS

### Anexo 1. Fotografías de entrevistas



**Fotografía 1.** GAD de Colta



**Fotografía 2.** GAD Parroquial de Columbe



**Fotografía 3.** Unidad Educativa “Hualcopo Duchicela”

## Anexo 2. Materiales usados para el muestreo de las aguas residuales

### Materiales:

- Envase de vidrio color ámbar de 1 L
- Hielera con refrigerantes
- Cámara fotográfica
- Guantes de látex estériles
- Mascarilla KN95



**Fotografía 4.** Identificación del punto de muestreo



**Fotografía 5.** Preparación del punto de muestreo



**Fotografía 6.** Recolección del agua residual



**Fotografía 7.** Almacenamiento y transporte de las muestras

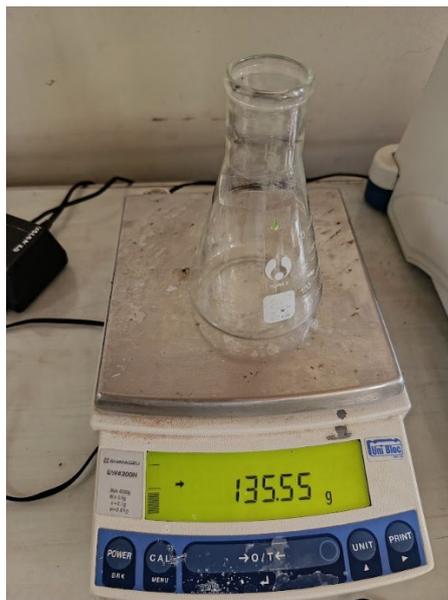
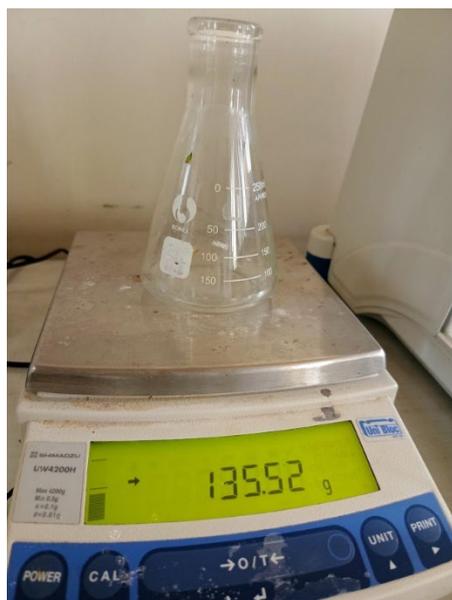
### Anexo 3. Instrumentos y materiales utilizados para el análisis en laboratorio

### Materiales:

- Libreta de apuntes
- Pipetas 5/10/15 mL
- Vasos de precipitación 25/50 mL
- Probetas graduadas 10/100/500 mL
- Matraz Erlenmeyer de 250 mL
- Matraz aforado de 1L
- Soporte universal
- Pinza de sujeción
- Pera de decantación
- Celdas de vidrio de 10 mL
- Pera de succión de 3 vías
- Petrifilm

### Equipos:

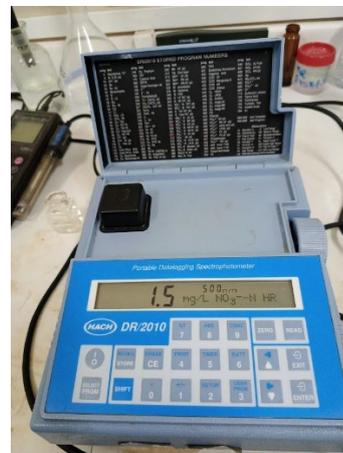
- Espectrofotómetro HACH DR/2010
- pH-metro
- Multiparámetro HACH HQ40d
- Estufa
- Balanza analítica
- Sistema DBO
- Incubadora
- Refrigerador
- Reactor COD HI839800



**Fotografías 8 y 9.** Análisis de grasas y aceites mediante diferencia de pesos



Fotografía 10. Preparación de muestra para DQO



Fotografías 11 y 12. Análisis de nitritos, nitratos y fosfato



Fotografía 13. Reactivos para la DBO<sub>5</sub>



Fotografía 14. Medición de la DBO<sub>5</sub>



**Fotografía 15.** Análisis de los parámetros (pH, conductividad, sólidos disueltos)

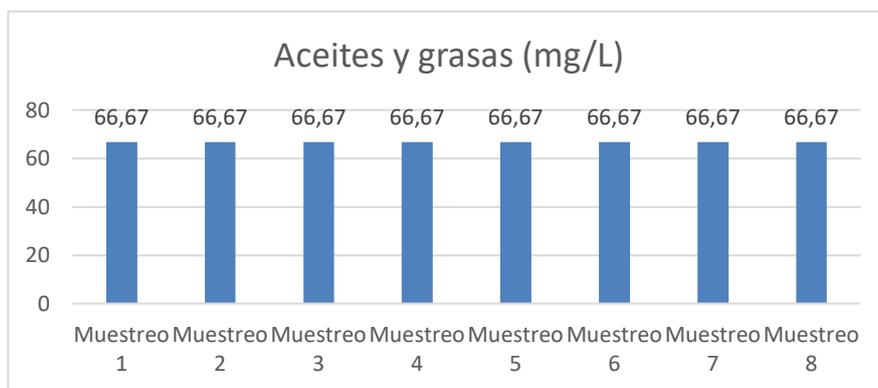


**Fotografía 16.** Recuento de los coliformes fecales y totales

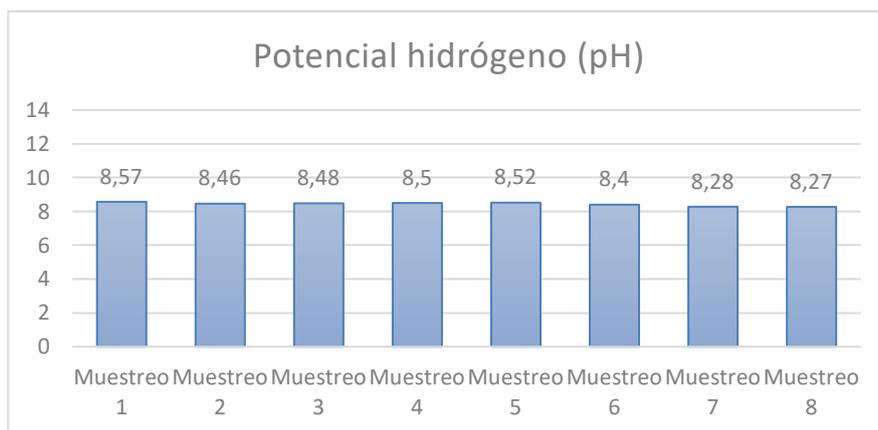
#### Anexo 4. Datos del muestreo

La etapa de muestreo se llevó a cabo durante 1 mes, muestreando 2 veces por semana y teniendo un total de 8 muestras recolectadas.

**Figura 7.** Valores obtenidos en aceites y grasas



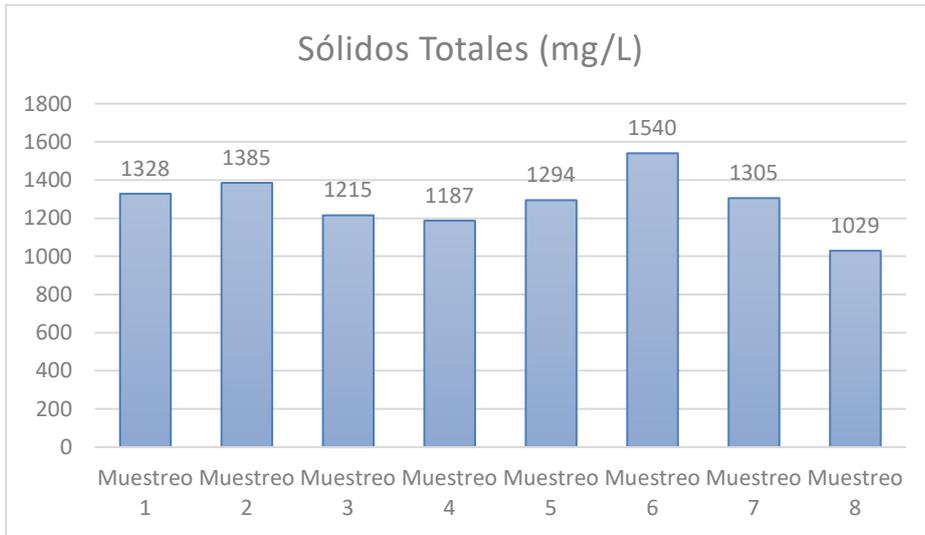
**Figura 8.** Valores obtenidos de pH



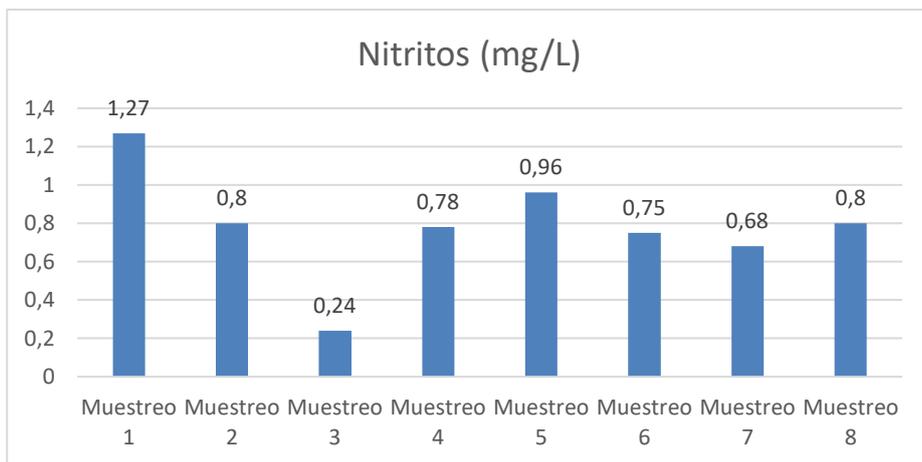
**Figura 9.** Valores obtenidos de conductividad



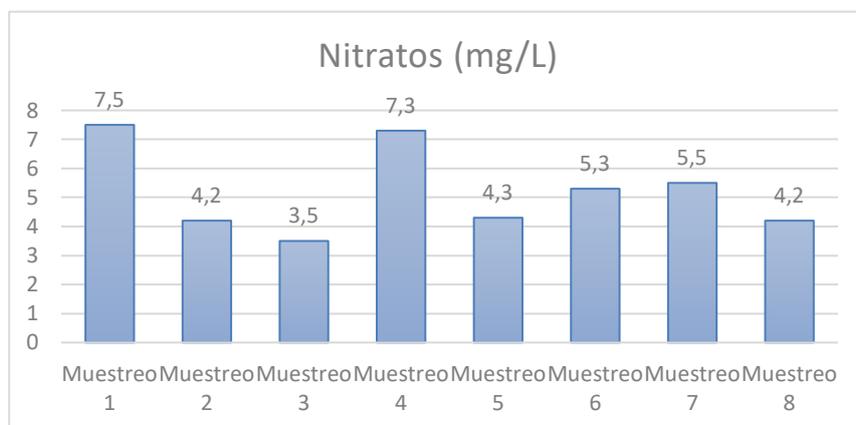
**Figura 10.** Valores obtenidos de sólidos totales



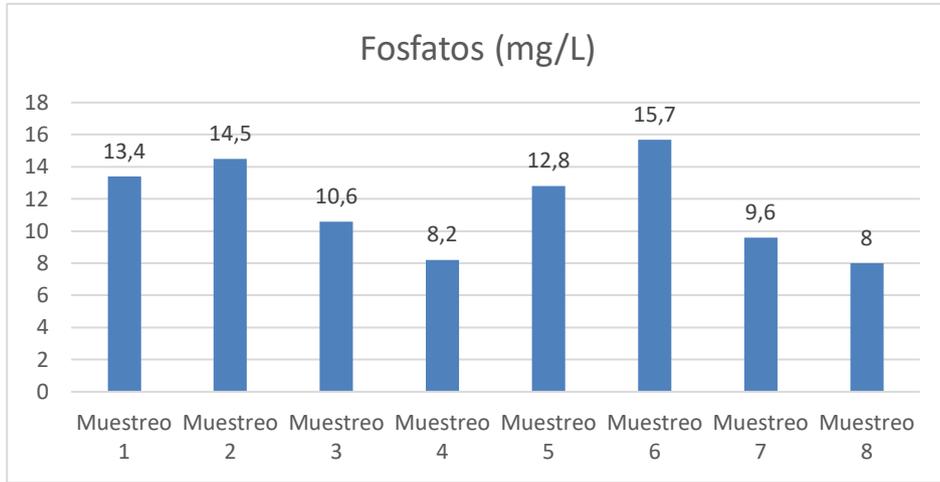
**Figura 11.** Valores obtenidos de nitritos



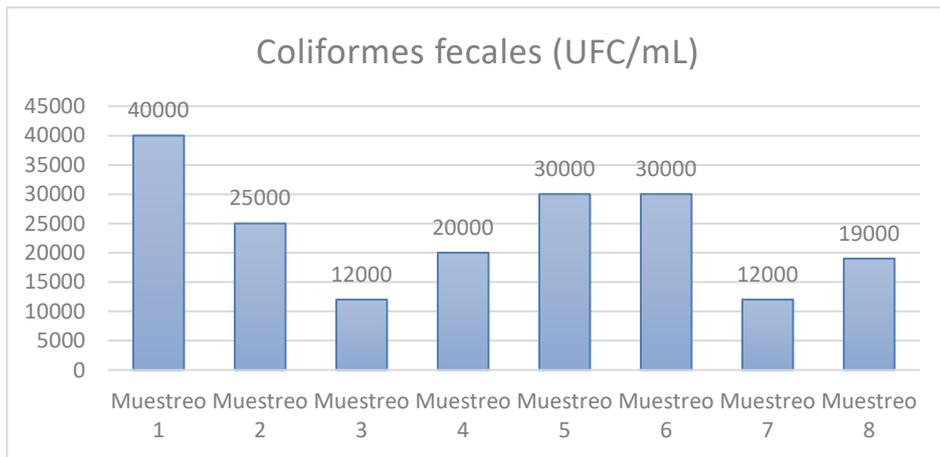
**Figura 12.** Valores obtenidos de nitratos



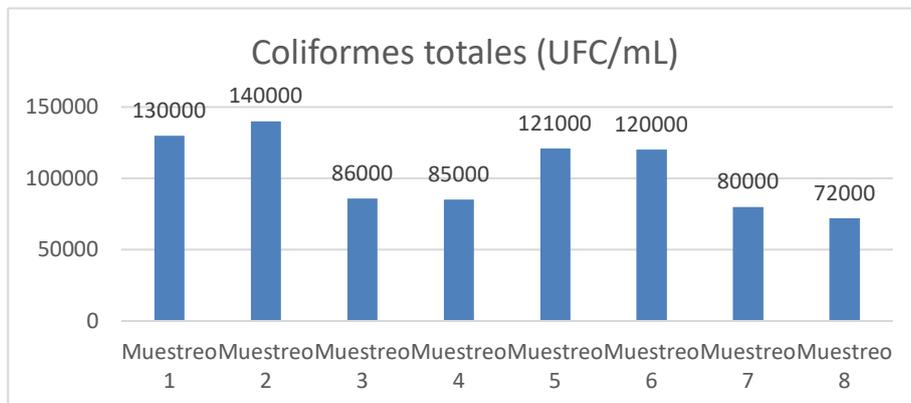
**Figura 13.** Valores obtenidos de fosfatos



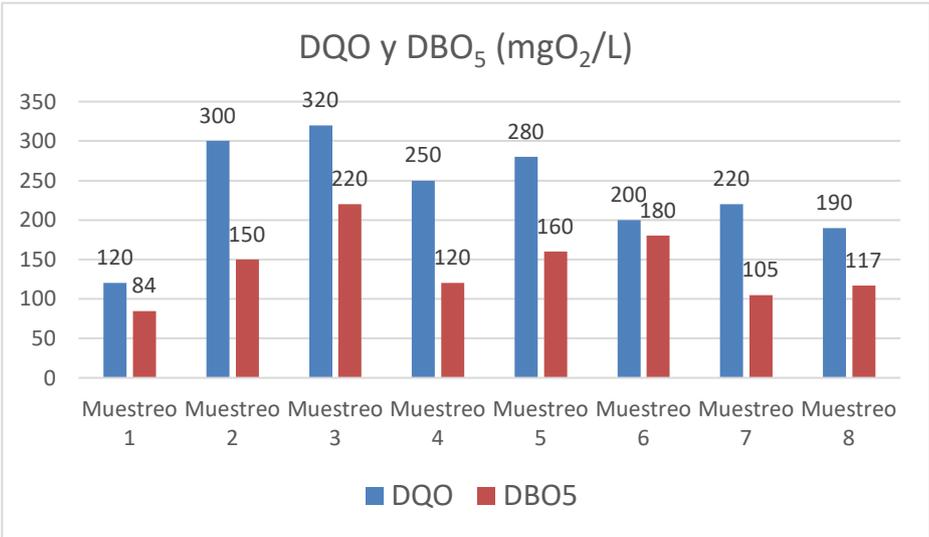
**Figura 14.** Valores obtenidos de coliformes fecales



**Figura 15.** Valores obtenidos de coliformes totales



**Figura 16.** Valores obtenidos en DQO y DBO<sub>5</sub>



## Anexo 5. Cálculos para el diseño y dimensionamiento de los tratamientos

### Datos para el diseño:

Población: 353 habitantes

Dotación: 150 L/hab.día

% contribución: 4,5% (1,2horas/24horas)

- **Caudal de diseño**

$$Q_p = \frac{P \times \text{Dotación} * \% \text{ contribución}}{1000} \quad (1)$$

Donde:

Q<sub>p</sub>: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/día)

P: Población (353 hab)

Dotación: 150 L/hab.día

% contribución: 4,5%

1000 para que el caudal se exprese en metros cúbicos

### TANQUE HOMOGENEIZADOR

- **Área del Tanque Homogeneizador**

Para calcular el área, se tomó en cuenta un tiempo de descarga de 6 h y para la altura un valor de 2 m utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q \times t}{h} \quad (2)$$

Donde:

Q: Caudal de ingreso al sistema (m<sup>3</sup>/h)

t: Tiempo de descarga (h)

h: Altura (m)

- **Diámetro del Tanque**

Para calcular el diámetro, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\varnothing = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \quad (3)$$

**Donde:**

$\varnothing$ : Diámetro (m)

A: Área del tanque homogeneizador (m<sup>2</sup>)

$\pi$ : Número irracional (3,1416)

- **Radio del Tanque**

Para calcular el radio, se utilizó la siguiente ecuación:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4)$$

**Donde:**

r: Radio (m)

A: Área (m<sup>2</sup>)

$\pi$ : Número irracional (3,1416)

- **Volumen del Tanque**

Para calcular el volumen, se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = A \times h \quad (5)$$

**Donde:**

V: Volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

A: Área del tanque (m<sup>2</sup>)

h: Altura (m)

- **Diámetro del impulsor**

Para calcular el diámetro del impulsor, se utilizó la siguiente ecuación:

$$d_i = \frac{1}{3} \times \Phi \text{ del tanque} \quad (6)$$

Donde:

$\Phi$ : Diámetro del tanque (m)

- **Ancho de paletas del impulsor**

Para calcular el ancho de las paletas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$q = \frac{1}{5} \times d_i \quad (7)$$

Donde:

$d_i$ : Diámetro del impulsor (m)

- **Longitud de las paletas**

Para calcular de la longitud de las paletas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$l = \frac{1}{4} \times d_i \quad (8)$$

Donde:

$d_i$ : Diámetro del impulsor (m)

- **Número de deflectores**

El número de deflectores para un tanque cilíndrico con agitación mecánica es de 4 según (Comisión Nacional Del Agua, 2015).

- **Ancho de los deflectores**

Para calcular el ancho de los deflectores, se utilizó la siguiente ecuación:

$$wb = \frac{1}{10} \times \Phi \text{ del tanque} \quad (9)$$

Donde:

$\Phi$ : Diámetro del tanque (m)

## TANQUE SÉPTICO

- **Volumen de sedimentación**

$$V_s = (0,001 * (P*D) * Pr) * \%contribución \quad (11)$$

Donde:

Vs: Volumen de sedimentación (m<sup>3</sup>)

P: Población (353 habitantes)

D: Dotación 150 L/hab.día

Pr: Tiempo de retención hidráulica (0,1)

%contribución: 4,5%

0,001 valor para que el resultado exprese metros cúbicos

- **Volumen de lodos**

$$V_d = ((G*N*P)/1000) * \%contribución \quad (12)$$

Donde:

G: producción de lodos, clima frío 50 (L/año.hab)

N: Intervalo de limpieza (1año)

P: población 353

%contribución: 4,5%

1000 valor para que se exprese en metros cúbicos

- **Volumen de natas**

$$V_n = 0,7 \quad (13)$$

$V_n$ : volumen de natas ( $m^3$ ) valor mínimo 0,7

- **Volumen útil**

$$V_T = V_s + V_d + V_n \quad (15)$$

Donde:

$V_T$ : Volumen útil ( $m^3$ )

$V_s$ : volumen de sedimentación ( $0,2355m^3$ )

$V_d$ : volumen de lodos ( $0,785m^3$ )

$V_n$ : volumen de natas ( $0,7m^3$ )

- **Área superficial del tanque**

$$A = V_T / P_F \quad (16)$$

Donde:

A: Area superficial del tanque ( $m^2$ )

$V_T$ : volumen útil ( $21,11m^3$ )

$P_F$ : profundidad útil (1,8m)

- **Volumen de tratamiento de líquidos**

$$V_l = Q_p \cdot T_r \quad (22)$$

Donde:

- $Q_p$ : Caudal diario de aguas residuales generadas ( $2,35m^3/día$ ).
- $T_r$ : Tiempo de retención hidráulica (2días) (generalmente entre 1 y 3 días)

- **Volumen total del tanque séptico**

$$V = V_T + V_l \quad (23)$$

Donde:

- V: Volumen total del tanque séptico (m<sup>3</sup>).
- V<sub>T</sub>: Volumen útil (1,7205m<sup>3</sup>).
- V<sub>l</sub>: Volumen de líquidos (4,7m<sup>3</sup>).

## TANQUE IMHOFF

- **Área del sedimentador**

Para calcular el área del sedimentador, se tomó en cuenta una carga superficial de 1, el cual se utiliza en la siguiente fórmula:

$$A_S = \frac{Q_p}{C_S} \quad (25)$$

**Donde:**

$Q_p$ : Caudal a tratar ( $m^3/h$ )

$C_s$ : Carga superficial ( $m^3/m^2 h$ )

- **Volumen del sedimentador**

Para calcular el volumen del sedimentador, se tomó en cuenta un periodo de retención hidráulica de 2h, el cual se utiliza en la siguiente fórmula:

$$V_S = Q_p \times R \quad (27)$$

**Donde:**

$Q_p$ : Caudal a tratar ( $m^3/h$ )

$R$ : Período de retención hidráulica (h)

- **Longitud del vertedero de salida**

Para calcular el área del sedimentador, se tomó en cuenta una carga hidráulica de 250, el cual se utiliza en la siguiente fórmula:

$$L_V = \frac{Q_p}{C_{hu}} \quad (29)$$

**Donde:**

$Q_p$ : Caudal a tratar ( $m^3/h$ )

$C_{hu}$ : Carga hidráulica en el vertedero ( $m^3/m \cdot h$ )

- **Volumen de digestión**

Para calcular el volumen de digestión, se tomó en cuenta un factor de capacidad relativa de 1,4, el cual se utiliza en la siguiente fórmula:

$$V_d = \frac{(70 * 4,5\%) \times P \times fcr}{1000} \quad (31)$$

**Donde:**

P: Población (hab)

fcr: Factor de capacidad relativa

4,5% valor de contribución

- **Volumen diario de lodos digeridos**

Para calcular el volumen diario de lodos digeridos, se tomó en cuenta el porcentaje de sólidos contenidos de 8% y de sólidos en suspensión de 90, el cual se utiliza en la siguiente fórmula:

$$V_{LD} = \frac{M_{SD}}{\rho_{LODO} \times \left( \frac{\% \text{ Sólidos}}{100} \right)} \quad (37)$$

$$M_{SD} = (0,5 \times 0,7 \times 0,5 \times C) + (0,5 \times 0,3 \times C) \quad (35)$$

$$C = 0,0864 \times Q_p \times SS \quad (36)$$

**Donde:**

Q<sub>p</sub>: Caudal a tratar (m<sup>3</sup>/h)

SS: Sólidos en suspensión (g SS /hab·d)

ρ<sub>LODO</sub>: Densidad del lodo 1,4 (kg/L)

C: Carga de sólidos que ingresa al sedimentador (kg SS/d)

M<sub>SD</sub>: Masa de sólidos que conforman los lodos (kg SS/d)

%SS: Porcentaje de sólidos contenidos

- **Volumen de lodos a extraerse**

Para calcular el volumen de lodos a extraerse, se utiliza en la siguiente fórmula:

$$V_{el} = \frac{V_{ld} \times T_d}{1000} \quad (38)$$

**Donde:**

$V_{ld}$ : Volumen diario de digestores ( $m^3$ )

$T_d$ : Tiempo de digestión en días (d)

- **Área del lecho de secado**

Para calcular el área del lecho de secado, se tomó en cuenta una profundidad de 0,2, el cual se utiliza en la siguiente fórmula:

$$A_{ls} = \frac{V_{el}}{H_a} \quad (40)$$

**Donde:**

$V_{el}$ : Volumen de lodos a extraerse ( $m^3$ )

$H_a$ : Profundidad de aplicación (m)

## CAMPO DE INFILTRACIÓN

**Área de superficie:**

$$A = \frac{Q}{K} \quad (41)$$
$$A = 5 \text{ m}^2$$

Donde:

- $A$  = Área de infiltración ( $\text{m}^2$ )
- $QP$  = Caudal  $2,38 \text{ m}^3/\text{día}$
- $K = 20 \text{ mm/h}$  (basado en las características generales de Columbe)

**Longitud de zanjas:**

$$L = \frac{A}{Nz * Az} \quad (42)$$
$$L = 2,5 \text{ m}$$

Donde:

$L$  = Longitud de zanja (m)

$A$  = Área de infiltración ( $\text{m}^2$ )

$Nz$  = Número de zanjas

$Az$  = Ancho de zanjas (m)

**Profundidad de infiltración:**

$$D = \frac{Q * L}{K * A} \quad (43)$$
$$D = 2,48 \text{ m}$$

Donde:

$D$  = Profundidad de infiltración (m)

$QP$  = Caudal ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$L$  = Longitud de zanja (m)

$Nz$  = Número de zanjas

$Az$  = Ancho de zanjas (m)