



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Prediseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la  
Comunidad 25 de Febrero del Cantón Lago Agrio**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**Autora:**

**Gavilanes Montalvan Rashel Jamileth**

**Tutor:**

**Prof. José Gregorio Prato Moreno PhD.**

**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Rashel Jamileth Gavilanes Montalvan, con cédula de ciudadanía 2100995527, autora del trabajo de investigación titulado: Prediseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Comunidad 25 de Febrero del Cantón Lago Agrio, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba 26 de febrero de 2024.



---

Rashel Jamileth Gavilanes Montalvan  
C.I. 2100995527



Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

*en movimiento*



UNACH-RGF-01-04-08.11  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

## ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 19 días del mes de febrero de 2024, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por la estudiante **Rashel Jamileth Gavilanes Montalvan** con CC: **2100995527**, de la carrera **Ingeniería Ambiental** y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el **ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado "**Prediseño De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Para La Comunidad 25 De Febrero Del Cantón Lago Agrio**", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



JOSE GREGORIO PRATO  
MORENO

Prof. José Gregorio Prato Moreno PhD.

**TUTOR**

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

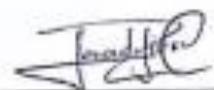
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación "Prediseño de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Comunidad 25 de Febrero del Cantón Lago Agrio", presentado por Rashel Jamileth Gavilanes Montalvan, con cédula de identidad número 2100995527, bajo la tutoría de Prof. José Gregorio Prato Moreno PhD.; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 26 de febrero de 2024.

Ing. Carla Silva Mgs  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Fernanda Rivera Mgs  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Ing. Patricio Santillan Msc  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





DIRECCIÓN ACADÉMICA  
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-02.20  
VERSIÓN 02: 06-09-2021

# CERTIFICACIÓN

Que, **RASHEL JAMILETH GAVILANES MONTALVAN** con CC: **2100995527**, estudiante de la Carrera **Ingeniería Ambiental**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**PREDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA COMUNIDAD 25 DE FEBRERO DEL CANTÓN LAGO AGRIO**", cumple con el 6 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 19 de febrero de 2024



JOSE GREGORIO PRATO  
MOSES

---

PhD. José Prato  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

A mi adorada madre Margarita, quien me apoyo incondicionalmente en todo momento de mi vida universitaria, es mi ejemplo para seguir por ser una persona trabajadora, perseverante, amable, que siempre estuvo presente cuando más lo necesite, por estar para nuestra familia.

A mi hermano Edgar quien me apoyó y brindó su cariño y amistad incondicional durante todo este tiempo que me encontré estudiando en otra provincia, el mismo que con su calidez y amor hacen mis días más felices.

*Rashel Gavilanes*

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que me han apoyado durante la elaboración de esta tesis. En especial, quiero agradecer a mi mamá, Margarita Montalvan, y a mi hermano Edgar, por ser mi fuerza y mi motivación en todo momento.

A mi mamá, por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe en mí. Gracias por ser mi roca y mi guía en los momentos más difíciles. Tu ejemplo de perseverancia y dedicación son una inspiración para mí y siempre estaré agradecida por todo lo que has hecho por mí.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Doctor José Prato, por su guía y su experiencia en el campo de la investigación. Gracias por compartir sus conocimientos conmigo, por sus comentarios y sugerencias constructivas y por haberme motivado a alcanzar mis objetivos académicos.

También quiero agradecer a mi pareja Jorge Rodríguez por su incondicional amistad y apoyo a lo largo de este proyecto. Su constante aliento y compañía han sido un verdadero pilar para mí. Muchas gracias, Jorge, por ser un gran amigo.

En último lugar, deseo agradecer a Eduardo León por su invaluable ayuda y apoyo, que fueron esenciales para la realización de este estudio. Su colaboración y ánimo fueron fundamentales en cada paso del proyecto. Gracias Eduardo por ser un amigo tan increíble.

¡Gracias a todos!

*Rashel Gavilanes*

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA .....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....	
DEDICATORIA .....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE GENERAL.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1. Antecedentes .....	14
1.2. Planteamiento del problema .....	14
1.3. Justificación.....	15
1.4. Objetivos .....	16
1.4.1. General .....	16
1.4.2. Específicos.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	17
2.1. Aguas residuales.....	17
2.1.1. Generación de aguas residuales.....	17
2.1.2. Características del agua residual .....	17
2.2. Tratamientos de aguas residuales .....	21
2.3. Comunidad 25 de Febrero .....	22
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	23
3.1. Tipo de investigación.....	23
3.2. Diseño de investigación.....	23
3.3. Técnicas de recolección de datos.....	23

3.4.	Población de estudio y tamaño de muestra.....	24
3.5.	Métodos de análisis .....	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		36
4.1.	Caracterización biofísica .....	36
4.2.	Caracterización Socioeconómica.....	45
4.3.	Caracterización de las aguas residuales .....	51
4.4.	Selección del sistema de tratamiento .....	52
4.5.	Dimensionamiento del sistema de tratamiento .....	54
4.6.	Propuesta de la ubicación más adecuada para el sistema de tratamiento .....	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		59
5.1.	Conclusiones.....	59
5.2.	Recomendaciones .....	59
BIBLIOGRAFÍA.....		61
ANEXOS.....		65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de dureza en el agua .....	19
Tabla 2 Requerimiento para la toma de muestras .....	26
Tabla 3 Parámetros de análisis de las aguas residuales.....	27
Tabla 4 Valoración cuantitativa de criterios.....	28
Tabla 5 Datos de población y tasa de crecimiento anual .....	30
Tabla 6 Dotaciones de agua para estudio y diseño de sistemas de aguas residuales.....	30
Tabla 7 Parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema D.A.F.....	31
Tabla 8 Rendimientos y porcentaje de remoción en el sistema D.A.F.....	32
Tabla 9 Parámetros de diseño para el dimensionamiento del Reactor U.A.S.B. ....	33
Tabla 10 Rendimientos y porcentaje de remoción en el sistema U.A.S.B.....	34
Tabla 11 Afectación de Recursos Naturales por actividad del cantón .....	44
Tabla 12 Caracterización de las aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero .....	51
Tabla 13 Valoración cuantitativa de criterios.....	52
Tabla 14 Selección del sistema de tratamiento .....	53
Tabla 15 Población futura y caudal de diseño.....	54
Tabla 16 Parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema de flotación por aire disuelto .....	54
Tabla 17 Balance de remoción del Sistema D.A.F.....	56
Tabla 18 Parámetros de diseño para el dimensionamiento del Reactor U.A.S.B.....	56
Tabla 19 Balance de remoción del sistema U.A.S.B.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la comunidad 25 de Febrero.....	36
Figura 2 Mapa de pendientes del cantón Lago Agrio .....	37
Figura 3 Mapa de formaciones geológicas del cantón Lago Agrio.....	38
Figura 4 Mapa de cobertura y uso de suelo del cantón Lago Agrio.....	39
Figura 5 Mapa de aptitud agrícola del cantón Lago Agrio.....	40
Figura 6 Mapa de tipos de ecosistemas del cantón .....	41
Figura 7 Mapa de bloques y campos petroleros del cantón Lago Agrio .....	43
Figura 8 Distribución de la población por género.....	45
Figura 9 Distribución por nivel de educación .....	46
Figura 10 Etnia de la población.....	46
Figura 11 Condición laboral de la población encuestada.....	47
Figura 12 Ocupación de la población encuestada .....	47
Figura 13 Ingresos de la población encuestada.....	48
Figura 14 Tipo de viviendas.....	48
Figura 15 Ingreso a las viviendas.....	49
Figura 16 Servicio de agua.....	49
Figura 17 Disposición de aguas residuales .....	50
Figura 18 Disposición de residuos .....	50
Figura 19 Tren del sistema de tratamiento .....	53
Figura 20 Sistema de flotación por aire disuelto.....	55
Figura 21 Esquema del Reactor U.A.S.B.....	57
Figura 22 Ubicación para el sistema de tratamiento de la comunidad 25 de Febrero .....	58

## RESUMEN

El proyecto de tesis tiene como objetivo proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales para la comunidad 25 de Febrero en el cantón Lago Agrio, provincia de Sucumbíos. La metodología utilizada involucró una investigación aplicada con un diseño de campo, recopilando información primaria y secundaria. Se aplicaron encuestas que evaluaron las condiciones comunitarias y biofísicas de la zona de estudio, mientras que un análisis fisicoquímico y biológico determinó la calidad del agua residual. El levantamiento socioeconómico indicó la necesidad de implementar un sistema, dado que el 84% del agua residual se deposita en pozos sépticos y el resto es vertido directamente en cuerpos de agua que desemboca en el Estero Osergo, generando contaminación. Además, los resultados de la caracterización mostraron que parámetros como  $\text{DBO}_5$  (123,6 mg/L), DQO (331,1 mg/L), aceites y grasas (22,5 mg/L), y coliformes fecales ( $>2400$  NMP/100 mL) exceden los límites máximos establecidos en las normativas nacionales. Basándose en los niveles de contaminación encontrados, se determinaron unidades adecuadas para el tratamiento. Los cálculos dimensionales proyectan un sistema para 25 años y una población futura de 1299 habitantes. La planta depuradora propuesta incluye un sistema de flotación por aire disuelto (D.A.F) como tratamiento primario, y un reactor anaerobio de flujo ascendente (U.A.S.B), tratamiento secundario, para remoción de la carga orgánica. Este proceso asegurará agua de mejor calidad, cumpliendo normativas y mitigando el impacto ambiental de las aguas residuales descargadas en el estero Osergo.

**Palabras clave:** Agua residual, sistema de tratamiento, comunidad 25 de Febrero, reactor UASB, flotación por aire disuelto, tratamiento anaerobio.

## ABSTRACT

The thesis project aims to propose a wastewater treatment system for the 25 de Febrero community in the Lago Agrio canton, province of Sucumbíos. The methodology involved applied research with a field design, collecting primary and secondary information. Surveys were applied that evaluated the community and biophysical conditions of the study area, while a physicochemical and biological analysis determined the quality of the residual water. The socioeconomic survey indicated the need to implement a system, given that 84% of the wastewater is deposited in septic wells, and the rest is dumped directly into bodies of water that flow into the Estero Osergo, generating pollution. Furthermore, the characterization results showed that parameters such as BOD<sub>5</sub> (123,6 mg/L), COD (331,1 mg/L), oils and fats (22,5 mg/L), and fecal coliforms (>2400 NMP /100 mL) exceed the maximum limits established in national regulations. Based on the contamination levels found, appropriate units for treatment were determined. The dimensional calculations project a system for 25 years and a future population of 1299 inhabitants. The proposed treatment plant includes a dissolved air flotation (D.A.F) system as primary treatment and an up-flow anaerobic reactor (U.A.S.B) as secondary treatment for removing the organic load. This process will ensure better-quality water, compliance with regulations, and mitigation of the environmental impact of wastewater discharged into the Osergo estuary.

**Keywords:** Wastewater, treatment system, 25 de Febrero community, UASB reactor, dissolved air flotation, anaerobic treatment.



Firmado electrónicamente por:  
DARIO JAVIER  
CUTIOPALA LEON

Reviewed by:

Mg. Dario Javier Cutiopala Leon

**ENGLISH PROFESSOR**

c.c. 0604581066

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Antecedentes**

Ecuador enfrenta notables desafíos ambientales derivados de la liberación de aguas residuales en ríos, esteros y quebradas, constituyendo un problema destacado tanto en áreas rurales como urbanas. En las cercanías de estos cuerpos de agua, los hogares descargan sus aguas residuales sin someterlas a tratamiento alguno. La emisión de aguas residuales ya sea en entornos urbanos o rurales, se presenta como una de las principales fuentes de contaminación ambiental. Esta problemática se agrava con la creación de nuevos asentamientos, los cuales necesitan evacuar las aguas residuales generadas en las actividades diarias del hogar. Para abordar la presencia de contaminantes en estas aguas, se torna esencial implementar procesos de tratamiento que reduzcan su contaminación (Mendoza, 2023).

La descarga directa de aguas residuales en cuerpos de agua dulce sin tratamiento previo constituye un problema no solo a los seres humanos, sino también a animales y plantas. Este tipo de aguas posee una alta concentración de residuos sólidos, materia orgánica, carga bacteriana, elementos tóxicos, entre otros, presentando una gran amenaza para los ecosistemas (Niama, 2016).

En la comunidad 25 de Febrero, se generan aguas residuales como resultado de diversas actividades domésticas. La problemática en esta comunidad del cantón Lago Agrio radica en la ausencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que conduce a la descarga directa en los cuerpos de agua presentes en el sector, desembocando en el estero Osergo, sin tratamiento previo. En consecuencia, las aguas residuales no cumplen con los límites permisibles establecidos por la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Afluentes: Recurso Agua, Libro VI, Anexo I, Tabla 12 límites de descarga a un cuerpo de agua dulce del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (MAATE, 2015).

El propósito fundamental de este proyecto consiste en el prediseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la comunidad 25 de Febrero, con la finalidad de lograr la correcta depuración de los contaminantes y agentes biológicos presentes en las aguas domésticas. Esto se llevará a cabo mediante la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que permitan identificar el nivel de contaminación, y poder seleccionar y dimensionar las unidades de tratamiento necesarias para gestionar adecuadamente las aguas residuales, sin afectar negativamente a los ecosistemas y la calidad de vida de los habitantes.

### **1.2. Planteamiento del problema**

Uno de los problemas ambientales que más auge ha tenido, es la contaminación de las aguas, este se refiere al hecho de incorporar al agua sustancias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, entre otros tipos, los cuales

deterioran la calidad del agua y hacen que ésta no sea útil para uso doméstico, la contaminación del agua causada por las actividades humanas se comienza a producir desde la industrialización, para transformarse en un problema habitual y generalizado (Burgos et al., 2015).

Las aguas residuales son la principal fuente de microorganismos patógenos que se transmiten a través del ambiente y que llegan a la población especialmente a través de la contaminación del agua usada para beber, en cultivos, en la preparación de comida, para lavar, en el baño o en los diversos usos recreativos, ocasionando diarrea entre otros problemas como la gastroenteritis, los cuales se encuentran entre las tres principales causas de muerte en el mundo y en Latinoamérica (Bofill et al., 2005).

Desde la antigüedad ha sido una necesidad deshacerse de los residuos orgánicos producidos por los seres humanos, y a lo largo de la historia se ha venido avanzando en la implementación de métodos cada vez más eficientes y amigables con el ambiente. Lo que ha producido que las entidades gubernamentales se preocupen e inviertan en planes de manejo de vertimientos en los municipios del país.

Debido a que las aguas servidas de la población 25 de Febrero no cuenta con un tratamiento adecuado y es vertida a un estero, y como consecuencia de esto problemas en la salud y en la calidad de vida de los habitantes a lo largo del tiempo, se hace necesario la intervención profesional que contribuya con la solución que ayude a disminuir el impacto que está generando la contaminación por mal manejo de las de las aguas residuales.

Por lo anterior, es de gran interés contribuir en la solución de dichos problemas, realizando un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, para el desarrollo de este trabajo se realizarán varias visitas a la comunidad 25 de Febrero, con el objeto de obtener muestras seriadas de las aguas residuales y ejecutar el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad Nacional de Chimborazo.

### **1.3. Justificación**

El impacto negativo de la descarga de aguas sin tratar en cuerpos de agua locales se ha vuelto un problema prevalente, afectando tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud de las comunidades circundantes. La implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales no solo se presenta como una medida preventiva frente a la degradación ambiental, sino también como un catalizador esencial para salvaguardar la salud pública y mejorar la calidad de vida.

En la comunidad 25 de Febrero, se hace evidente la urgencia de abordar la falta de infraestructura de tratamiento de aguas residuales. La descarga directa de aguas sin tratar en los cuerpos de agua locales plantea riesgos significativos para la salud de la población y agrava el deterioro del entorno. La implementación de un sistema de tratamiento de aguas

residuales no solo sería un avance trascendental en la preservación ambiental, sino que también presentaría un impulso vital para mejorar las condiciones de vida de los residentes locales.

Este enfoque no se limita a una respuesta a desafíos ambientales y de salud inmediatos, sino que constituye una inversión en el futuro sostenible y próspero de la comunidad. Al considerar la situación y aprendiendo de experiencias exitosas previas, la implantación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad 25 de Febrero se presenta como un imperativo ineludible para salvaguardar su entorno, garantizar la salud pública y sentar las bases para un desarrollo comunitario más resiliente y sostenible.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

Realizar el prediseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la comunidad 25 de Febrero del cantón Lago Agrio.

### **1.4.2. Específicos**

- Describir las características biofísicas y socioeconómicas de la zona de estudio.
- Caracterizar las aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero para conocer los contaminantes presentes.
- Seleccionar y dimensionar el sistema de tratamiento de las aguas residuales para la comunidad 25 de Febrero.
- Proponer la ubicación más adecuada para el sistema de tratamiento de la comunidad.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Aguas residuales**

Las aguas residuales comprenden cualquier fuente derivada de la satisfacción de necesidades humanas, abarcando tanto el ámbito doméstico como el industrial, entre otros. Constituyen un 99% de agua y un 1% de sólidos, clasificables en inorgánicos (carbonato, sulfato, nitrógeno, fósforo, cloruros, y elementos tóxicos como zinc, mercurio, cromo, cadmio, cobre, y plomo) y orgánicos (nitrogenados y no nitrogenados). Estas aguas albergan concentraciones significativas de microorganismos patógenos (Ronquillo, 2016).

#### **2.1.1. Generación de aguas residuales**

La amplia gama de actividades humanas que requieren agua resulta en la generación de aguas residuales. A medida que la demanda global de agua aumenta, tanto el volumen como el nivel de contaminación de las aguas residuales experimentan un crecimiento constante a nivel mundial (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2017).

#### **2.1.2. Características del agua residual**

El agua residual presenta una composición diversa de contaminantes, incluyendo materia orgánica proveniente mayormente de aguas domésticas, la cual consume oxígeno y perjudica la vida acuática. Además, se encuentran contaminantes inorgánicos, como fósforo y nitrógeno, con diversas composiciones, así como componentes tóxicos y peligrosos (Metcalf & Eddy, 2002).

##### **2.1.2.1. Características físicas del agua residual**

Las características físicas del agua residual que permiten identificar su nivel de contaminación son los siguientes:

###### **a) Propiedades organolépticas**

El color, olor y sabor son propiedades organolépticas que permiten evaluar la calidad del agua residual. Estos indicadores pueden revelar la presencia de contaminantes, gases de descomposición orgánica y la pureza del agua. Por ejemplo, en el agua potable, un sabor agradable y la ausencia de color indican pureza (Arboleda, 2000).

###### **b) Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) es una medida numérica de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. Depende de la concentración de sustancias disueltas ionizadas y la temperatura. Cambios en estas variables afectan la conductividad, utilizada en análisis de aguas para estimar rápidamente la concentración de sólidos disueltos (Sawyer et al., 2001).

### **c) Sólidos**

La presencia de sólidos en el agua, que incluyen materia orgánica, arena, coloides y otros elementos, desempeña un papel crucial en la evaluación de la eficacia de las unidades de tratamiento (Romero, 1999). Estos sólidos se categorizan en:

- Sólidos Sedimentables (SD): Se sedimentan por gravedad en una hora.
- Sólidos Suspendidos (SS): Visibles y flotan, removibles por métodos físicos o mecánicos.
- Sólidos Totales (ST): Residuos después de evaporación y secado, incluyendo disueltos y suspendidos.

### **d) Turbidez**

La turbidez mide la cantidad de materia coloidal y residual en suspensión, afectando la transmisión de luz. Es un parámetro clave para evaluar la calidad del agua vertida (Carita, 2012).

## **2.1.2.2. Características químicas del agua residual**

### **a) pH**

El pH es una medida numérica que indica la acidez o alcalinidad de una solución acuosa. Se calcula como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion Hidrógeno. Soluciones ácidas tienen un pH menor a 7, mientras que las alcalinas son mayores a 7. El agua pura es neutral con un pH de 7 (Vázquez & Rojas, 2016).

### **b) Alcalinidad**

La alcalinidad del agua es una medida de su capacidad de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio. Su capacidad para neutralizar ácidos y prevenir cambios bruscos de pH la hace importante en el tratamiento químico de aguas residuales (Romero, 1999).

### **c) Dureza**

La dureza del agua se refiere a la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en ella, principalmente sales de Ca y Mg y en menor medida, Al, Fe, Mn, Sr y Zn (Romero, 1999). Dada la diversidad de compuestos implicados, se presenta una clasificación de dureza detallada en la Tabla 1.

**Tabla 1***Clasificación de dureza en el agua*

<b>Dureza presente en el agua (mg CaCO<sub>3</sub>/L)</b>	<b>Tipo de agua</b>
0-75	Blanda
75-150	Moderadamente dura
150-300	Dura
>300	Muy dura

**Fuente:** Romero (1999).**d) Fosfatos**

Los fosfatos son nutrientes inorgánicos que enriquecen el ecosistema acuático receptor, favoreciendo el crecimiento de plantas y algas, pues en concentraciones tan bajas como 0,01 mg/L de fósforo pueden ser suficientes para causar eutrofización cuando otros elementos se encuentran en exceso, proliferando algas y otras plantas verdes que cubren la superficie del agua, impidiendo que la luz solar penetre en las capas inferiores, reduciendo la actividad fotosintética, generando un efecto antiestético en los lagos (olor, aspecto), pudiendo ser tóxicas para el ganado, perjudicando el sabor del agua, obstruyendo las unidades filtrantes y aumentando las necesidades químicas en el tratamiento del agua (Glynn & Heinke, 2000).

**e) Nitratos y nitritos**

Los nitratos y los nitritos son iones presentes en la naturaleza intercambiables entre ambos a través de un gran número de reacciones químicas y biológicas. Los nitritos (NO<sub>2</sub>) y nitratos (NO<sub>3</sub>) se expresan, por lo general, en términos de nitrógeno oxidado total (NO<sub>x</sub>). En las aguas superficiales y subterráneas, las concentraciones ascienden por lo general a unos cuantos mg/L. Los nitratos son reducidos a nitritos por la ausencia de oxígeno. Esta reacción puede llevarse a cabo de una manera parcial o completa (Glynn & Heinke, 2000).

**f) Sulfatos**

Ion común en aguas residuales; en condiciones anaerobias origina problemas de olor y corrosión de alcantarillas; en digestores de lodos son reducidos a sulfuros y el proceso biológico se deteriora si la concentración de sulfuros es mayor de 200 mg/L (Glynn & Heinke, 2000).

### **g) Aceites y grasas**

Compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno flotantes en el agua residual. Causan problemas de mantenimiento, interfieren con la actividad biológica y son difíciles de biodegradar por bacterias (Romero, 1999).

### **h) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro analítico que representa la cantidad de oxígeno disuelto (OD) consumido por las bacterias aeróbicas que crecen en el material orgánico presente en una muestra de agua a una temperatura específica durante un período de tiempo específico. El valor de DBO se expresa más comúnmente en miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra durante 5 días de incubación a 20 °C y a menudo se utiliza como sustituto del grado de contaminación orgánica del agua (Cabrera & Vargas, 2022).

### **i) Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es uno de los parámetros más efectivos en el control de la calidad del agua; constituye la cantidad de oxidante químico que se necesita para poder oxidar los materiales contenidos en el agua y se expresa en mg de O<sub>2</sub>/L, indica el contenido de materia orgánica del cuerpo de agua mediante un agente químico oxidante (Raffo & Ruiz, 2014).

## **2.1.2.3. Características microbiológicas del agua residual**

### **a) Coliformes fecales**

Los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten, normalmente, en el intestino del hombre y en el de otros animales. Los coliformes fecales también denominados coliformes termo tolerantes, llamados así por que soportan temperaturas hasta 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal (Mora & Calvo, 2010).

### **b) Coliformes totales**

Estos gérmenes pueden encontrarse en el intestino del hombre o en medios no intestinales como el suelo y el agua. A este grupo pertenecen *Escherichia coli*, especie del género *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Serratia*. Su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces (Carita, 2012).

## **2.2. Tratamientos de aguas residuales**

Para el tratamiento de las aguas residuales existen muchos métodos que varían dependiendo de los contaminantes y de las descargas que se quieran realizar en general se realizan los tratamientos preliminares, tratamientos primarios, tratamientos secundarios y tratamientos terciarios (Ronquillo, 2016).

### **2.2.1. Pretratamiento**

El tratamiento preliminar prepara el afluente de aguas residuales para su posterior tratamiento, mediante la reducción o eliminación de características específicas del agua residual que, de otra manera, podrían impedir el funcionamiento o indebidamente incrementar el mantenimiento de los procesos y equipos de las unidades siguientes al pretratamiento (Comisión Nacional del Agua, 2015).

En el pretratamiento se emplean diversas unidades, entre ellos:

- Cribado
- Desarenado
- Homogeneización y neutralización
- Desengrasado

### **2.2.2. Tratamiento primario**

Es el tratamiento donde se trasladan los sólidos de gran tamaño y las arenas vigentes en las aguas negras. Se tiene conocimiento que también se lo conoce como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales que logran producir daños al funcionamiento de los equipos involucrados en las diferentes operaciones y procesos que conforman el sistema de tratamiento (Sánchez & Román, 2020).

Los principales objetivos del tratamiento primario de aguas residuales son:

- Reducir la potencia de las aguas residuales entre un 30% y un 50%.
- Para eliminar sólidos sedimentables entre un 80% y un 90%.
- Reducir la DBO entre un 30% y un 35%.
- Hacer que las aguas residuales sean aptas para un proceso de tratamiento posterior.

### **2.2.3. Tratamiento secundario**

En esta etapa de la depuración del agua se remueve DBO, DQO y sólidos suspendidos a través de procesos de oxidación y conversión de los compuestos orgánicos a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, principalmente; el tratamiento secundario biológico es llevado a cabo por microorganismos que degradan la materia orgánica en presencia de oxígeno (aerobios) o en ausencia de oxígeno (anaerobios), para reproducirse generando lodo de exceso que debe ser removido

periódicamente, entre los sistemas más comunes están los lodos activos, los filtros percoladores, la biodigestión anaerobia o las lagunas aireadas, Sistema Anaerobio Tipo U.A.S.B., tanque Imhoff y pozo séptico (Rodríguez de Jorge, 2020).

#### **2.2.4. Tratamiento terciario**

En esta etapa final del tratamiento se realizan procesos para la eliminación de agentes patógenos, como bacterias de origen fecal, aumentando los estándares de calidad requeridos para ser devuelta al ciclo del agua, por descarga al mar, en ríos, lagos, recargas de acuíferos, embalses y demás sistemas hídricos (Rodríguez de Jorge, 2020).

### **2.3. Comunidad 25 de Febrero**

La comunidad 25 de Febrero está ubicado en la parroquia urbana Nueva Loja que también es la cabecera cantonal de la ciudad de Lago Agrio, la ciudad amazónica más poblada del Ecuador, perteneciente a la provincia de Sucumbíos. Cuenta con un área de 23,7 hectáreas y se encuentra a una altitud promedio de 300 m.s.n.m. Las temperaturas medias anuales varían entre 18 y 22°C, la humedad relativa se establece en todo punto alrededor del 90% con mucha nubosidad. Las alturas de las precipitaciones anuales son superiores a los 4500 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021), en la parroquia Nueva Loja, existen 31 plantas de tratamiento de aguas residuales de las cuales 20 se encuentran en funcionamiento, 10 se encuentran colapsadas y 1 está enterrada. El Comunidad 25 de Febrero no cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales que se generan, provocando un problema que afecta a la salud de la población y al ambiente.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo de investigación**

La investigación aplicada busca objetivos directos e inmediatos, como evaluar los recursos de una región para aprovecharlos mejor o investigar las causas de una enfermedad para proteger la salud (Sabino, 1992).

El nivel de investigación del presente trabajo es de tipo aplicada ya que busca solucionar un problema práctico específico, evaluando los recursos y métodos disponibles para aplicar un sistema de tratamiento de aguas residuales en el Comunidad 25 de Febrero. El estudio aborta la identificación de factores que afectan la calidad del agua, con el objetivo de implementar unidades de tratamientos para una mejor gestión del agua residual.

### **3.2. Diseño de investigación**

El diseño de investigación de este estudio es de tipo campo, consiste en la recolección de datos de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), empleando datos secundarios provenientes de materiales elaborados por otros autores como libros, tesis, artículos, que ayudan a plasmar el marco teórico (Arias, 2012).

Si se analiza la investigación según la clase de medios utilizados (técnicas e instrumentos) para obtener los datos; se puede inferir que la misma tuvo un diseño de campo con apoyo documental y experimental.

### **3.3. Técnicas de recolección de datos**

#### **a) Consulta de documentos institucionales**

Se accedió a documentos proporcionados por instituciones locales, tales como el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Lago Agrio (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021) y el Estudio para el Sistema de Agua Servidas para la comunidad 25 de Febrero, Parroquia Nueva Loja, Cantón Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos (Empresa Púbrica Municipal De Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio, 2023), para obtener información cualitativa y cuantitativo sobre la caracterización biofísica del área de estudio.

#### **b) Encuesta**

Se realizó una encuesta preparada para evaluar las características socioeconómicas de la comunidad 25 de Febrero aplicándose a un total de 70 hogares.

### 3.4. Población de estudio y tamaño de muestra

El proyecto involucra el estado de las aguas residuales y la caracterización biofísica y socioeconómica, por lo tanto, la población de estudio es por un lado las aguas residuales generadas en la comunidad 25 de Febrero y su población.

Para el 2023 según el censo realizado por la Empresa Pública Municipal De Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio (2023). La comunidad cuenta con 108 viviendas, considerando que cada familia cuenta con un promedio de 4 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2010), por lo que la población de estudio está conformado por 432 habitantes.

- **Tamaño de la muestra**

Para llevar a cabo la caracterización socioeconómica de la comunidad 25 de Febrero, se empleó la metodología propuesta por (Sakurai, 1983) para determinar el tamaño de muestra necesario.

La determinación del tamaño de muestra se basó en un nivel de confianza del 99%. Se aplicó la fórmula correspondiente (Ecuación 1) y se concluyó que el número mínimo adecuado de muestras fue de 45 hogares. Para este estudio, se eligieron 70 hogares para obtener una muestra representativa y confiable. Las personas encuestadas fueron seleccionadas aleatoriamente y, con la coordinación respectiva, se llevaron a cabo las encuestas en los diversos sectores de la comunidad.

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2 \cdot Z^2}{(N - 1) \cdot e^2 + \sigma^2 \cdot Z^2} \quad (1)$$

**Donde:**

Muestra	n	A determinar
Población	N	432
Nivel de confianza	Z <sup>2</sup>	99%
Desviación estándar	σ <sup>2</sup>	0,50
Margen de error	e	2,8%

### 3.5. Métodos de análisis

La realización del prediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la comunidad 25 de Febrero se llevó a cabo en cuatro fases:

## ❖ **Fase 1: Descripción biofísica y socioeconómica de la zona de estudio**

### **Etapa 1. Descripción biofísica**

Para este estudio se consideraron los siguientes parámetros: relieve, pendientes, geología, cobertura y uso del suelo; aptitud agrícola, clima, ecosistemas, recursos bióticos, recursos hídricos, recursos no renovables y contaminación.

Para recopilar esta información, se consultó el Plan de Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021). Además, se llevaron a cabo visitas de campo y se tomaron fotografías para adquirir detalles.

### **Etapa 2. Descripción socioeconómica**

Se diseñó una encuesta estructurada que abordó diversos aspectos para obtener un panorama integral de la comunidad. Las preguntas incluyeron temas como género, educación, etnia, condición laboral, ocupación, ingresos de la población, vivienda, ingresos a las viviendas, acceso a agua potable, disposición de aguas servidas, disposición de residuos y manejo de aguas pluviales.

Para recopilar estos datos, se realizaron varias visitas a la comunidad 25 de Febrero y se llevaron a cabo entrevistas directas a los residentes, aplicándose a 70 hogares.

## ❖ **Fase 2: Caracterización de las aguas residuales de la zona de estudio**

### **Etapa 1. Muestreo de las aguas residuales**

El muestreo se dividió en dos partes, para el análisis fisicoquímico tres muestras simples por semana durante un mes mientras que para los análisis microbiológicos se tomó una única muestra por semana durante un mes.

Las muestras se trasladaron individualmente a los laboratorios de Servicios Ambientales y Ciencias Químicas de la carrera de Ingeniería Ambiental, para formar una muestra compuesta, así como al laboratorio de Investigación de la carrera de Laboratorio Clínico, pertenecientes a la Universidad Nacional de Chimborazo.

El muestreo de las aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero se realizó en base a los Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales No 1060 DIN 38402 (serie A11 – A22) (APHA et al., 2017). En la Tabla 2 se muestran los criterios utilizados.

En el Anexo 2, se especifican los materiales utilizados durante el muestreo, mientras que en la Tabla 2 se indican los requerimientos para la toma de muestras.

**Tabla 2***Requerimiento para la toma de muestras*

<b>Parámetros</b>	<b>Cantidad mínima de muestra (mL)</b>	<b>Tiempo máximo de almacenamiento</b>	<b>Formas de conservación</b>
Aceites y Grasas	1000	28 días	Agregar ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH < 2 y refrigeración
Alcalinidad	200	24 horas/14 días	Refrigeración
Conductividad	500	28 días	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
Dureza	100	6 meses	Agregar ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> ) hasta pH < 2
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
pH	----	2 horas/inmediato	Análisis inmediato
Sólidos	----	7 días	Refrigeración
Sulfatos	----	28 días	Refrigeración
Turbidez	----	24 horas	Análisis inmediato, guardar en oscuridad hasta 24 horas y refrigeración

Fuente: APHA et al. (2017).

**Etapa 2. Caracterización de las aguas residuales**

La caracterización de las aguas residuales consistió en la medición de parámetros fisicoquímicos en los laboratorios de Servicios Ambientales y Ciencias Químicas de la carrera de Ingeniería Ambiental, y microbiológicos en el laboratorio de Investigación de la carrera de Laboratorio Clínico. En los ensayos se usó el Manual de análisis de agua (HACH COMPANY, 2000) y los métodos estándares para el examen de aguas potables y residuales (APHA et al., 2017).

En el Anexo 3, se detallan los materiales y equipos empleados en los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, mientras que en la Tabla 3 se presentan los parámetros estudiados.

**Tabla 3***Parámetros de análisis de las aguas residuales*

<b>Análisis</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Norma</b>	<b>Método</b>
Fisicoquímico	Aceites y Grasas	mg/L	EPA 418.1	Gravimétrico
	Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Estándar 2320-B	Volumétrico
	Color real	Unts. Pt Co	Estándar 8025	Fotométrico
	Conductividad	us/cm	Estándar 2510-B	Potenciométrico
	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg O <sub>2</sub> /L	Estándar 5210-B	Respirométrico
	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	Estándar 5220-D-mood	Fotométrico
	Dureza	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Estándar 2340-C	Volumétrico
	Fosfatos	mg/L	Estándar 4500-N-E mod	Fotométrico
	Nitratos + Nitritos	mg/L	Estándar 4500-P-E	Fotométrico
	Potencial de Hidrógeno (pH)	----	Estándar 4500-Hb	Potenciométrico
	Sólidos Sedimentables	mL/L	Estándar 2540-F	Volumétrico
	Sólidos Suspendidos	mg/L	Estándar 2540-D	Gravimétrico
	Sólidos Totales	mg/L	Estándar 2540-D	Gravimétrico
	Sulfatos	mg/L	Estándar 4500	Fotométrico
	Turbidez	NTU	Estándar 2130-A-B	Nefelométrico
Microbiológico	Coliformes fecales	(Nmp/100mL)	Método del Número Más Probable (NMP)	Volumétrico

Fuente: HACH COMPANY (2000).

### ❖ Fase 3: Selección y dimensionamiento del sistema de tratamiento

#### Etapa 1. Selección del sistema de tratamiento

Para la selección de las unidades del sistema de tratamiento de agua residual de la comunidad 25 de Febrero se tomaron en cuenta los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual.

Durante la selección del proceso preliminar y tratamiento primario, se consideraron cuidadosamente los equipos para asegurar una eficiencia óptima, alineada con las características específicas del agua residual. Se priorizó la economía, buscando soluciones de bajo costo que se adapten a las necesidades particulares de la comunidad 25 de Febrero. El objetivo primordial fue la reducción significativa de los parámetros de sólidos y grasas, con el propósito de prevenir posibles complicaciones en las etapas subsiguientes del tratamiento.

En este contexto, se tuvieron en cuenta las valiosas recomendaciones proporcionadas por Romero (1999). Este enfoque estratégico no solo busca la eficiencia operativa en el tratamiento inicial, sino que también proyecta un impacto positivo en las fases posteriores del proceso, asegurando un tratamiento secundario fluido y efectivo.

Bajo estas recomendaciones, la unidad seleccionada para el pretratamiento y tratamiento primario de las aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero fue el Sistema de flotación por aire disuelto (D.A.F).

En cuanto a la determinación del tratamiento secundario, se preseleccionaron cinco técnicas entre anaerobias y aerobias, las cuales son:

- Sistema Anaerobio Tipo U.A.S.B.
- Tanque Imhoff.
- Pozo Séptico.
- Lodos Activados.
- Filtros Aerobios.

Para valorar cuál de las técnicas es la más adecuada para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero, se aplicó el método de factores ponderados (Samaniego, 2022). Esta técnica de análisis semi cuantitativa se basa en la valoración de diversos factores operacionales y económicos seleccionados objetivamente por el evaluador aplicando una escala de ponderación. A continuación, en la Tabla 4 se muestra la escala de puntuación utilizada.

**Tabla 4**

*Valoración cuantitativa de criterios*

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

**Fuente:** Autora.

Posteriormente se elaboró una matriz de ponderación que incluía las siguientes variables de análisis:

- Eficiencia de remoción de DBO.
- Espacio.
- Mantenimiento.
- Costos.

- Procesos Extras.
- Condiciones de operación.
- Tiempo de tratamiento.

A estas variables se les asignó una ponderación subjetiva, variando de 40 a 100, para reflejar su peso en importancia. Por último, se calculó el producto entre puntuación según la escala de la Tabla 4 y la ponderación asignada. La sumatoria de estos productos se realizó para cada tecnología evaluada. El orden de prioridad se determinó en función de la puntuación obtenida para cada técnica; es decir, un valor más alto indicaba una condición más favorable.

## **Etapa 2. Dimensionamiento del sistema de tratamiento**

Para el dimensionamiento de las unidades del sistema de tratamiento de las aguas residuales para la comunidad 25 de Febrero, se acudió a bibliografías especializadas en el diseño de sistemas de tratamiento. Para llevar a cabo esta etapa se debe conocer la población proyectada, la dotación de agua y el caudal de diseño para diseñar las unidades.

### **a) Población futura**

Para conocer la población futura a la cual se proyectará los diseños, se empleó el modelo de crecimiento geométrico cuya expresión es la siguiente:

$$P_f = P_o (1 + r)^n \quad (2)$$

#### **Donde:**

$P_f$  : Población proyectada

$P_o$ : Población actual

$r$ : Tasa de crecimiento poblacional

$n$ : Número de años de proyección

Como se explicó previamente, la determinación de la población actual ( $P_o$ ) se determinó para enero del 2023, empleando los datos de La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio (2023) y con base en el promedio de habitantes por vivienda proporcionado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010), dando un total de 432 habitantes.

Para la determinar la tasa de crecimiento poblacional ( $r$ ), se emplearon los datos comparativos sobre el crecimiento poblacional en la parroquia Nueva Loja según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010), reportados en la Tabla 5.

**Tabla 5***Datos de población y tasa de crecimiento anual*

Parroquia	Número de personas (años)			Tasa de crecimiento anual	
	1990	2001	2010	1990 - 2001	2001 - 2010
Nueva Loja	25533	39924	57727	4,1%	4,2%

**Fuente:** Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010).**b) Dotación de agua**

Es necesario conocer el caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio, por cada habitante, para posteriormente dimensionar adecuadamente las instalaciones de tratamiento y asegurar que puedan manejar la carga máxima prevista.

Para determinar la dotación, se consideraron el número de habitantes de la población y las condiciones climáticas, utilizando los datos de la Tabla 6. La dotación elegida para el diseño del sistema de tratamiento fue de 200 (L/hab/día).

**Tabla 6***Dotaciones de agua para estudio y diseño de sistemas de aguas residuales*

Poblaciones (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
Mas de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

**Fuente:** Instituto Ecuatoriano de Normalización (2003).**c) Caudal de diseño**

El caudal medio diario de aguas servidas urbanas de origen doméstico fue calculado de acuerdo con la expresión:

$$Q = \frac{D * P}{86400} * 0,80 \quad (3)$$

**Donde:**

Q : Caudal de diseño

P: Proyección de la población año

D: Dotación

0,80: Coeficiente de retorno

**d) Sistema de flotación por aire disuelto (D.A.F.)**

El sistema D.A.F. es un proceso de clarificación de efluentes que separa sólidos, grasas y aceites, concentrando el lodo y eliminando una variedad de sólidos suspendidos, especialmente aceites y grasas. Además, contribuye a disminuir la DQO y la DBO. Con una disposición de prisma rectangular superior y pirámide rectangular inferior, el sistema introduce agua contaminada y aire en la cámara de flotación. Las burbujas de aire elevan partículas y aceites, formando una capa de lodo en la superficie. La pirámide inferior sirve como zona de acumulación para sólidos (Fluence Corporation Limited, 2018).

Para el desarrollo del diseño del Sistema D.A.F, se utilizó la metodología propuesta por Romero (1999). En la Tabla 7 se detallan los parámetros calculados, mientras que en el Anexo 4 se especifican los procedimientos y las ecuaciones para el cálculo de esta unidad de tratamiento.

**Tabla 7**

*Parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema D.A.F.*

<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidad</b>
Caudal recirculado presurizado	$Q_R$	$\frac{L}{S}$
Solubilidad del aire	$C_T$	$\frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}}$
Cantidad de aire liberado	$C_T - C_L$	$\frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}}$
Relación aire/sólidos	$\frac{A}{S}$	
Cantidad de lodo producido	$m_{lodos}$	$\frac{kg}{h}$
Área superficial del tanque de flotación	$A_S$	$m^2$

Volumen del tanque de flotación	$V_{\text{prisma}}$	$\text{m}^3$
Ancho del tanque de flotación	$A_{\text{prisma}}$	m
Largo del tanque de flotación	$L_{\text{prisma}}$	m
Altura tanque de flotación	$H_{\text{prisma}}$	m
Volumen del tanque de flotación	$V_{\text{pirámide}}$	$\text{m}^3$
Altura tanque de flotación	$H_{\text{pirámide}}$	m
Volumen total del tanque de flotación	$V_{\text{flot}}$	$\text{m}^3$
Volumen tanque de presurización	$V_{\text{pres}}$	$\text{m}^3$
Altura tanque de presurización	h	m
Diámetro tanque de presurización	$\emptyset_{\text{pres}}$	m

**Fuente:** Romero (1999).

Para calcular la eliminación de contaminantes en el Sistema de flotación por aire disuelto, se tomaron en cuenta los rendimientos propuestos por Romero (1999). En la Tabla 8 se detallan los parámetros, rendimientos recomendados y el porcentaje específico elegido para realizar la evaluación del proceso de eliminación en el sistema.

**Tabla 8**

*Rendimientos y porcentaje de remoción en el sistema D.A.F.*

Parámetro	% Remoción	% Seleccionado
SST	70-90	83
DBO	10-50	30
DQO	10-25	20
Aceites y Grasas	60-95	95

**Fuente:** Autora.

### e) Reactor anaerobio de flujo ascendente (U.A.S.B.)

El reactor anaerobio de flujo ascendente es un proceso que se utiliza para el tratamiento biológico de las aguas residuales. El agua se conduce desde la parte superior hacia el fondo mediante un sistema de tuberías. El afluyente fluye en dirección ascendente a través de un manto de lodos, donde se lleva a cabo el tratamiento. El biogás generado, principalmente metano y dióxido de carbono, provoca una circulación interna. El biogás, el

lodo y el líquido tratado ascienden hasta la parte superior del reactor, donde deflectores facilitan la separación del biogás y la sedimentación del lodo. El biogás se captura en una campana de recolección en la parte superior. El líquido tratado (efluente) se expulsa por la parte superior (Comisión Nacional del Agua, 2015).

Para llevar a cabo el diseño del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente o U.A.S.B. se utilizó la metodología aplicada por la Comisión Nacional del Agua (2015). En la Tabla 9 se detallan los parámetros calculados, mientras que en el Anexo 4 se especifican los procedimientos y las ecuaciones para el cálculo de esta unidad de tratamiento.

**Tabla 9**

*Parámetros de diseño para el dimensionamiento del Reactor U.A.S.B.*

<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidad</b>
Gasto afluente promedio	$Q_{ip}$	$\frac{m^3}{d}$
Gasto afluente máximo horario	$Q_{max-h}$	$\frac{m^3}{d}$
Carga de DQO en el afluente	$L_0$	$\frac{kg}{d}$
Tiempo de retención hidráulica	TRH	h
Volumen del reactor	$V_U$	$m^3$
Altura del reactor	H	m
Área del reactor	A	$m^2$
Largo del reactor	L	m
Carga hidráulica volumétrica	CHV	$\frac{m^3}{m^3 \cdot d}$
Carga orgánica volumétrica	COV	$\frac{kg}{m^3 \cdot d}$
Velocidad de flujo ascendente para $Q_{ip}$	v	$\frac{m}{h}$
Velocidad de flujo ascendente para $Q_{max-h}$	v	$\frac{m}{h}$
Número de tubos de distribución del agua residual	$N_d$	
Eficiencia de remoción de la DQO, estimada	$E_{DQO}$	%
Eficiencia de remoción de la DBO, estimada	$E_{DBO}$	%
Producción estimada de metano	$Q_{CH_4}$	$\frac{m^3}{d}$
Producción estimada de biogás (considerando un contenido de metano de 75% en el biogás)	$Q_g$	$\frac{m^3}{d}$
Número de colectores de gas		
Aberturas del sedimentador		
Compartimentos del sedimentador		
Producción del lodo	$P_L$	$\frac{kg}{d}$

Volumen de lodo	$V_L$	$\frac{m^3}{d}$
Altura de la campana	$h_C$	m
Distancia horizontal de un lado de la campana	x	m
Ancho real de la campana	z	m
Número de campanas	$N_C$	
Separación entre campanas		m
Diseño del canal de salida (dos canales), Ancho	$B_e$	m
Diseño del canal de salida, (dos canales), Profundidad	h	m

**Fuente:** Comisión Nacional del Agua (2015).

Para calcular la eliminación de contaminantes en el Sistema U.A.S.B., se tomaron en cuenta los rendimientos propuestos por la Comisión Nacional del Agua (2015). En la Tabla 10 se detallan los parámetros, rendimientos recomendados y el porcentaje específico elegido para realizar la evaluación del proceso de eliminación en el sistema.

**Tabla 10**

*Rendimientos y porcentaje de remoción en el sistema U.A.S.B.*

<b>Parámetro</b>	<b>% Remoción</b>	<b>% Seleccionado</b>
SST	60-70	65
DBO	65-80	75
DQO	60-80	67
Nitratos + Nitritos	10-25	25

**Fuente:** Autora.

#### ❖ Fase 4: Propuesta de la ubicación más adecuada para el sistema de tratamiento

Acorde a las condiciones de la zona, se analizaron tres aspectos claves para proponer una ubicación, estos son:

1. Mitigación de impactos ambientales.
2. Orografía y topografía.
3. Costos y viabilidad constructiva.

##### **a) Mitigación de impactos ambientales**

Una planta de tratamiento de aguas residuales si bien mitiga los impactos ambientales de mayor magnitud, pero es sabido que la ubicación respecto a la comunidad es resistida por los mismos beneficiarios normalmente por falta de conocimiento, esta reacción adversa de la población es principalmente a la falta de mantenimiento oportuno de la planta de tratamiento de aguas residuales, lo que generalmente ocasionan malos olores asociados a enfermedades. Por consiguiente, se propuso que esté dentro de la zona de influencia directa,

pero no cercano a una vivienda o predio ocupado en una distancia no menor a 50 metros de distancia.

### **b) Orografía y topografía**

La forma del terreno y sus cuerpos de agua naturales indican que fluyen en sentido norte a sur con dirección sur este. Siendo imprescindible que la ubicación propuesta sea aguas abajo de estos cuerpos de agua y juntos a los mismos, en una zona que no sufra riesgos de inundación, erosión y que se respete el ancho del cauce. Este lugar debe llevar concordancia con el aspecto legal, se determinó su factibilidad con la municipalidad de la comunidad.

### **c) Costos y viabilidad constructiva**

Una vez depurado los conceptos previos de medidas ambientales y la topografía, hay que regirse a que la ubicación debe ser lo suficientemente económica para su construcción, es por eso que entre más alejada se encuentre, más será el costo, y entre menos cantidad de recursos materiales y humanos sean necesarios, menor será el costo.

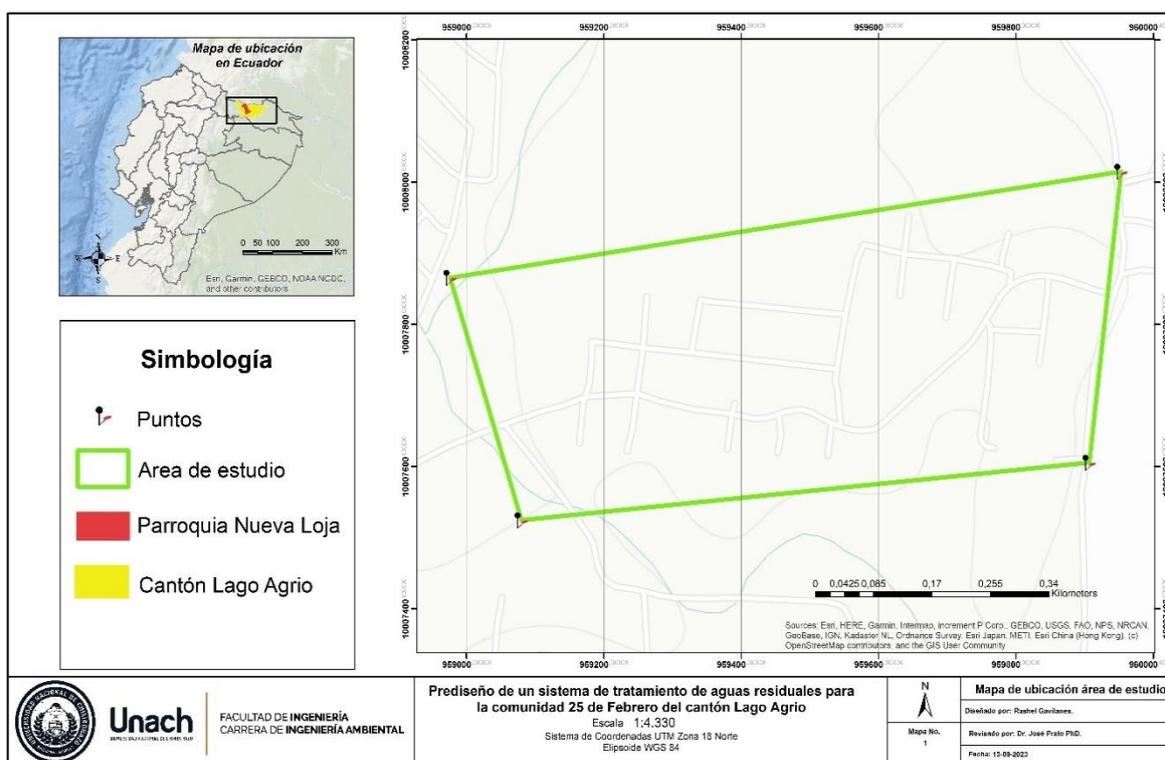
## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización biofísica

La localidad de la comunidad 25 de Febrero se encuentra en la parroquia urbana de Nueva Loja, la cual forma parte del cantón Lago Agrio, ubicado en la provincia de Sucumbíos (Figura 1). Esta comunidad abarca una superficie de 23,7 hectáreas y está situada a una altitud media de 300 metros sobre el nivel del mar. Las temperaturas anuales varían entre 19 y 22°C, y la humedad relativa permanece alrededor del 90%, destacándose por una notable presencia de nubosidad. Las precipitaciones anuales en esta región superan los 4500 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

**Figura 1**

*Mapa de ubicación de la comunidad 25 de Febrero*



**Fuente:** Autora.

A continuación, se presentarán los resultados de la descripción biofísica, que incluyó la evaluación de los siguientes parámetros: pendientes, geología, cobertura y uso del suelo; aptitud agrícola, clima, ecosistemas, recursos bióticos, recursos hídricos, recursos no renovables y contaminación.

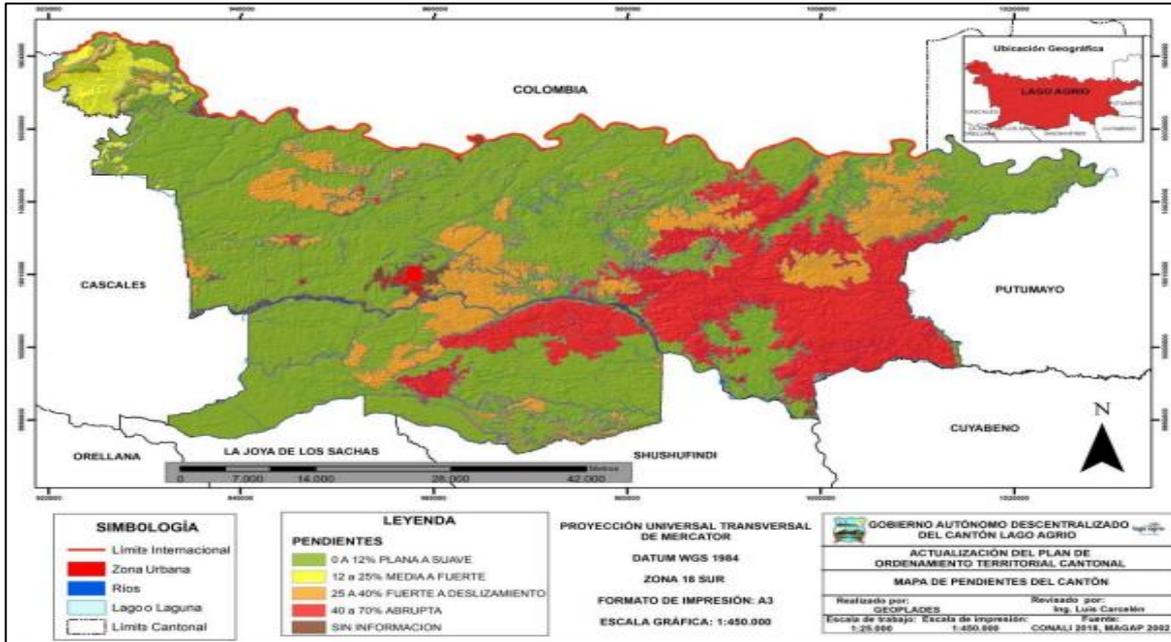
#### 4.1.1. Pendientes

La mayoría del territorio en el cantón Lago Agrio se caracteriza por áreas de pendientes planas o suaves, abarcando un 61,52% de su extensión total, mientras que el

19.19% se encuentra en pendientes abruptas (Figura 2). En cuanto a Nueva Loja, el 51% de su superficie parroquial se distribuye en pendientes planas, situadas en el sector norte y suroccidental de la ciudad. Por otro lado, presenta pendientes pronunciadas en un 37%, localizadas en el sector este y noreste de la ciudad de Nueva Loja (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

**Figura 2**

*Mapa de pendientes del cantón Lago Agrio*



**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021).

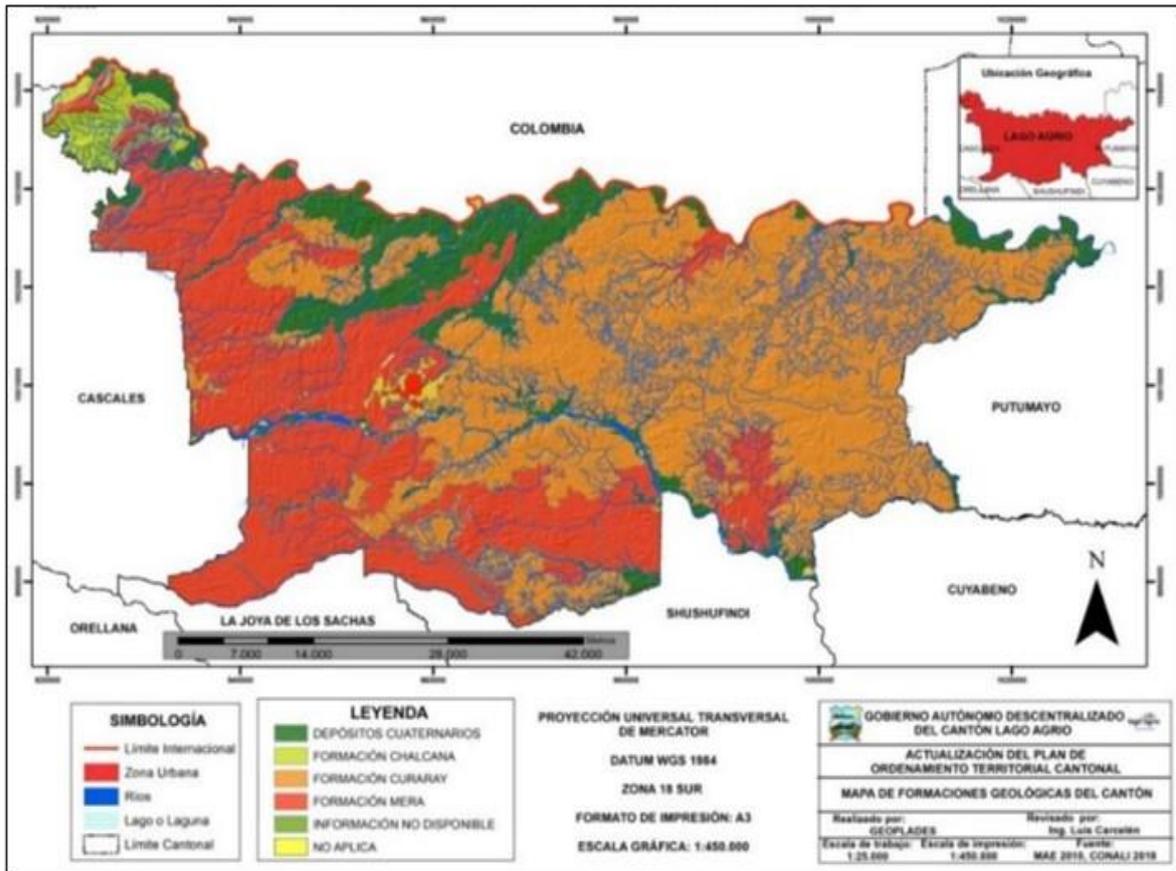
#### 4.1.2. Geología

En Lago Agrio, se identifican cuatro grupos geológicos, siendo la formación Curaray la más extensa, abarcando el 48% del territorio cantonal, seguida por la formación Mera con un 34%. El 18% restante se reparte entre los depósitos cuaternarios y la formación Chalcana, como se ilustra en la Figura 3.

La Formación Curaray presenta una litología compuesta por arcillas, lutitas y areniscas finas; mientras que la litología de la formación Mera se compone por conglomerados gruesos, tobas y arenas. En la parroquia Nueva Loja confluyen las dos formaciones ocupando la superficie casi en partes iguales (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

**Figura 3**

*Mapa de formaciones geológicas del cantón Lago Agrio*



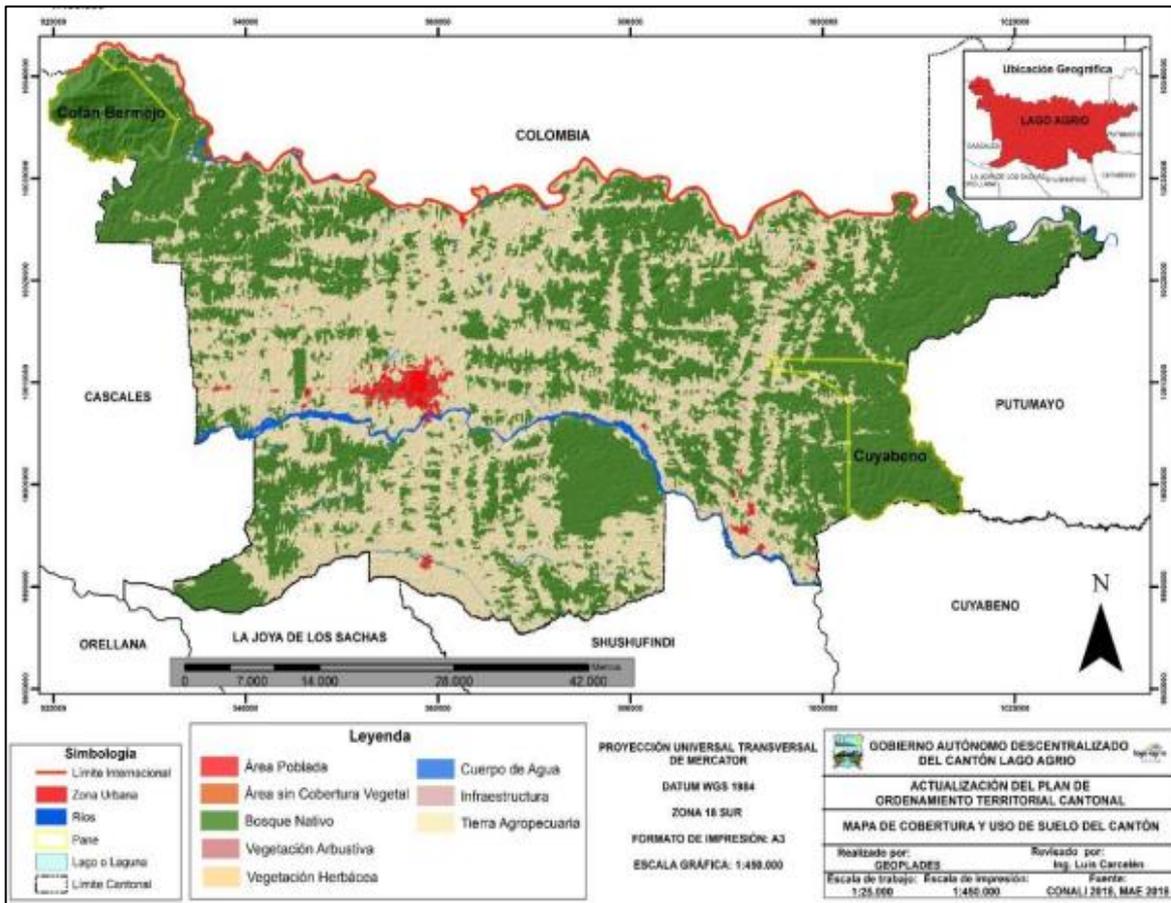
**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021).

#### 4.1.3. Cobertura y uso del suelo

El paisaje de Lago Agrio se caracteriza mayoritariamente por la presencia de bosques, abarcando un 52% que equivale a 163644,19 hectáreas. En contraste, las zonas destinadas a actividades agropecuarias totalizan 141783,01 hectáreas, representando el 45% del territorio del cantón (Figura 4). Estas áreas se concentran principalmente alrededor de la ciudad de Nueva Loja, en la parroquia Santa Cecilia, junto a las vías que conectan los núcleos poblacionales del cantón, y a lo largo del río Aguarico (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

**Figura 4**

*Mapa de cobertura y uso de suelo del cantón Lago Agrio*



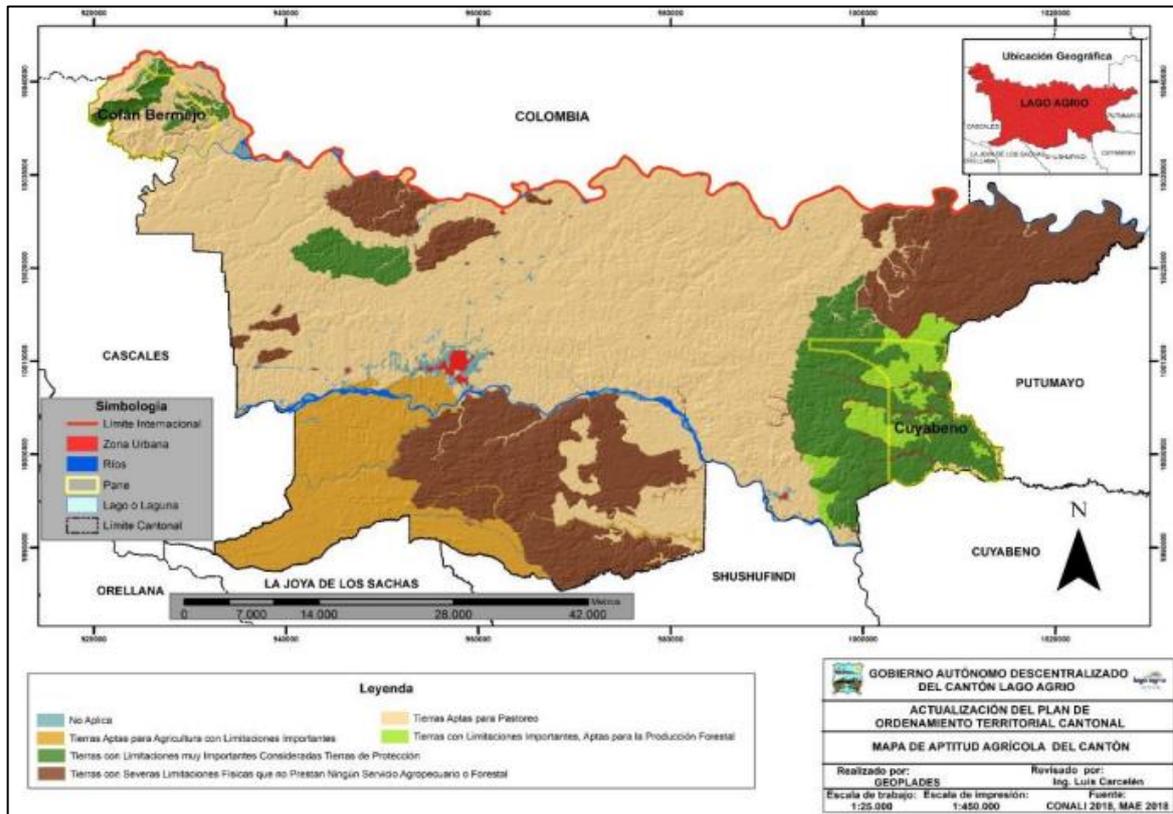
Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021).

#### 4.1.4. Aptitud agrícola

En el territorio de Lago Agrio predominan tierras con poco riesgo de erosión de capacidad V, correspondientes a suelos con limitaciones agrícolas fuertes a muy fuertes, siendo aptos para pastoreo. Como se visualiza en la Figura 5, el cantón también presenta un alto porcentaje de suelos con severas limitaciones físicas que no son adecuados para uso agropecuario o forestal, y se consideran exclusivamente para conservación (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

**Figura 5**

*Mapa de aptitud agrícola del cantón Lago Agrio*



**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021).

#### 4.1.5. Clima

El clima en este cantón se caracteriza por ser megatérmico lluvioso, representando una transición entre las condiciones climáticas de la región andina y la zona oriental. Ubicado en la vertiente exterior de la cordillera oriental (Reventador), abarca altitudes entre 800 y 1700 msnm. Las temperaturas medias anuales varían de 18 a 22 °C, con una humedad relativa constante alrededor del 90% y una nubosidad significativa (7/8). Las precipitaciones anuales alcanzan alturas superiores a los 4500 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

#### 4.1.6. Ecosistemas

En Lago Agrio, se destaca un ecosistema preponderante que ocupa el 55,25% del área cantonal, correspondiente al bosque siempreverde de tierras bajas del Aguarico-Putumayo-Caquetá. Además, se identifican de manera minoritaria otros ecosistemas, como el bosque siempreverde piemontano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes (1,97% del cantón), el bosque siempreverde de tierras bajas del Napo-Curaray (0,77%), el bosque inundado de palmas de la llanura aluvial de la Amazonía (0,21%), y el bosque inundable de



#### **4.1.8. Recursos hídricos**

El cantón Lago Agrio, ubicado en las cuencas de los ríos Aguarico y San Miguel, enfrenta desafíos en la calidad del agua. Ambos ríos, afluentes principales del río Napo, presentan aguas blancas con altas concentraciones de sólidos disueltos. Aproximadamente el 31% de las cuencas se ve amenazado por contaminación, principalmente debido a descargas de la industria petrolera y minera. La explotación petrolera y la minería ponen en peligro la calidad del agua, afectando la salud de las comunidades dependientes de estos recursos. Destaca la necesidad de implementar medidas de control sobre las descargas industriales para garantizar el derecho humano al agua. La disminución en la calidad y cantidad del agua afecta la fauna acuática y amenaza la seguridad alimentaria de las comunidades indígenas (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

##### **4.1.8.1. Agua para consumo**

El uso actual de los recursos hídricos en Lago Agrio es bajo debido a la topografía y la falta de inversión en infraestructura. Sin embargo, el acceso al agua potable es desigual, especialmente en áreas rurales, donde las mujeres son responsables de transportar agua desde ríos y esteros. A pesar de una oferta constante y abundante de agua durante el año, la actividad petrolera impacta negativamente en la cantidad de agua debido a la degradación del bosque y la erosión del suelo (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

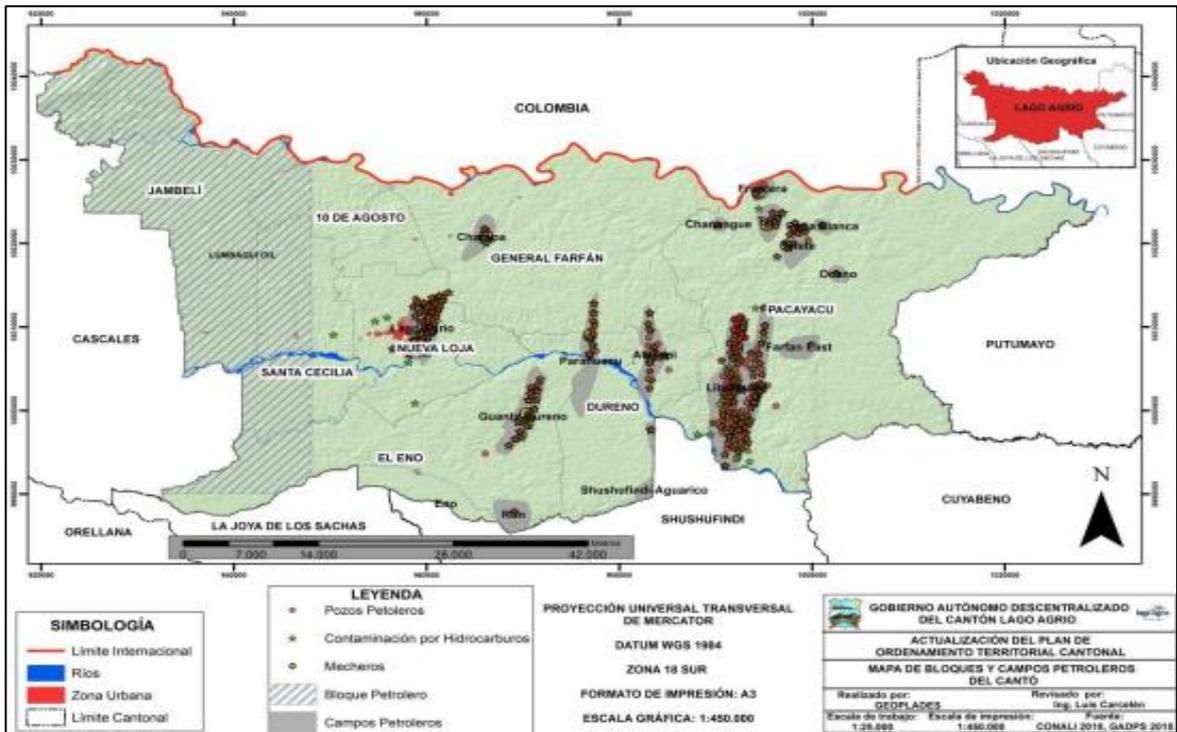
#### **4.1.9. Recursos no renovables**

##### **a) Combustibles fósiles**

El Bloque Petrolero No. 11, administrado por Lumbaqui Oil, abarca 67,700 hectáreas en el cantón Lago Agrio, incluyendo parcialmente varias parroquias, como Jambelí (Figura 7). Además, hay 16 campos petroleros, principalmente operados por PetroAmazonas, Gran Terra y Orion Oil, que ocupan alrededor de 23,000 hectáreas en total. Este bloque alberga 261 pozos petroleros, con el 90% en fase de producción. La actividad petrolera en Lago Agrio incluye 326 piscinas para la disposición de desechos químicos y pruebas de producción, así como 26 mecheros que queman y ventean crudo y gas natural, siendo notables en la parroquia Pacayacu, impactando negativamente en el entorno y la calidad de vida de los habitantes (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

**Figura 7**

*Mapa de bloques y campos petroleros del cantón Lago Agrio*



**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021).

## **b) Minerales y pétreos**

En Nueva Loja, la explotación de materiales áridos y pétreos está sujeta a la regulación del GAD municipal. Según el catastro minero de 2020, se han otorgado 163 concesiones en el cantón, de las cuales 42 corresponden específicamente a Nueva Loja. Estas concesiones abarcan una variedad de materiales, como áridos, piedra de río, oro, entre otros (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021).

### **4.1.10. Contaminación**

En el cantón Lago Agrio, se identifican diversas fuentes notables de contaminación, entre ellas la industria petrolera, minera, hidroeléctricas y termoeléctricas. A estas se suman las emisiones contaminantes generadas por asentamientos humanos, actividades agrícolas y la ganadería (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio, 2021). La Tabla 11 proporciona un resumen detallado de las actividades que impactan la calidad de los recursos naturales en el cantón.

**Tabla 11***Afectación de Recursos Naturales por actividad del cantón*

<b>Recurso natural</b>	<b>Afectación</b>	<b>Actividades</b>
Hídrico	Pérdida de recurso agua para el consumo de la población del cantón	Perforación petrolera Asentamiento desordenado Ganadería extensiva Actividades de servicio sin tratamiento de residuos
Flora	Pérdida de especies endémicas	Perforación petrolera Expansión de la frontera agrícola Ganadería extensiva Uso de pesticidas en plantaciones Tala de bosque para insertar especies foráneas para agricultura
Fauna	Pérdida de Biodiversidad Genética Pérdida de hábitat	Perforación petrolera Expansión de la frontera agrícola Aumento de animales domésticos en zonas no adecuadas Cacería indiscriminada
Suelo	Pérdida de recurso suelo	Perforación petrolera Sobreutilización de recurso con cultivos de ciclo corto Expansión de la frontera agrícola Erosión de suelo por ganadería
Aire	Contaminación del recurso aire Cambio climático	Extracción hidrocarburífera, presencia del gas metano Uso de pesticidas Emisión de gases de efecto invernadero por el aumento del parque automotor

**Fuente:** Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio (2021).

## 4.2. Caracterización socioeconómica

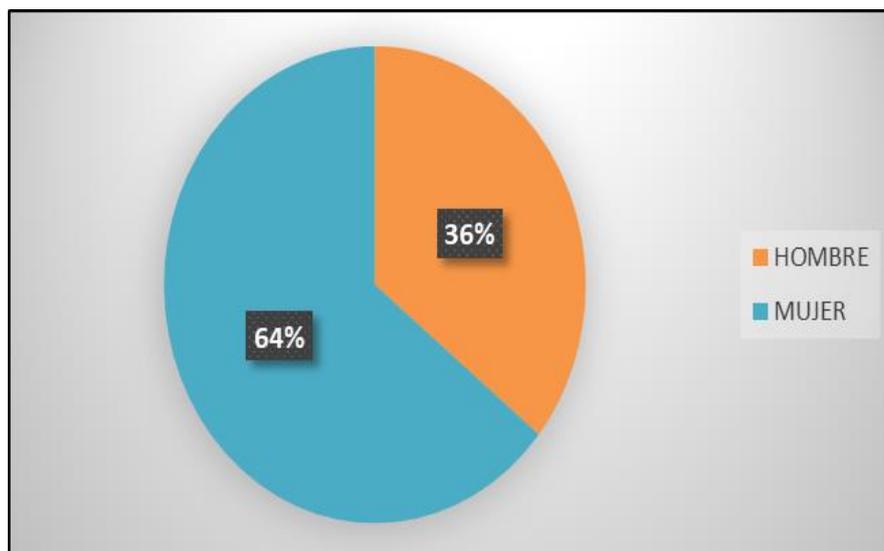
Para llevar a cabo este estudio, se realizaron encuestas en la comunidad 25 de Febrero, una población urbana ubicada en la parroquia Nueva Loja del cantón Lago Agrio. A continuación, se describen los resultados de la aplicación de la encuesta en cuanto a los siguientes temas: género, educación, etnia, condición laboral, ocupación, ingresos de la población, tipo de vivienda, ingresos a las viviendas, acceso a agua potable, disposición de aguas servidas y disposición de residuos. Es importante destacar que la totalidad de la comunidad tiene acceso a energía eléctrica (Empresa Pública Municipal De Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio, 2023).

### 4.2.1. Género

La Figura 8 presenta los resultados de la distribución de la población según el género. Se destaca que el 64% de las personas encuestadas fueron mujeres, mientras que el 36% fueron hombres.

**Figura 8**

*Distribución de la población por género*



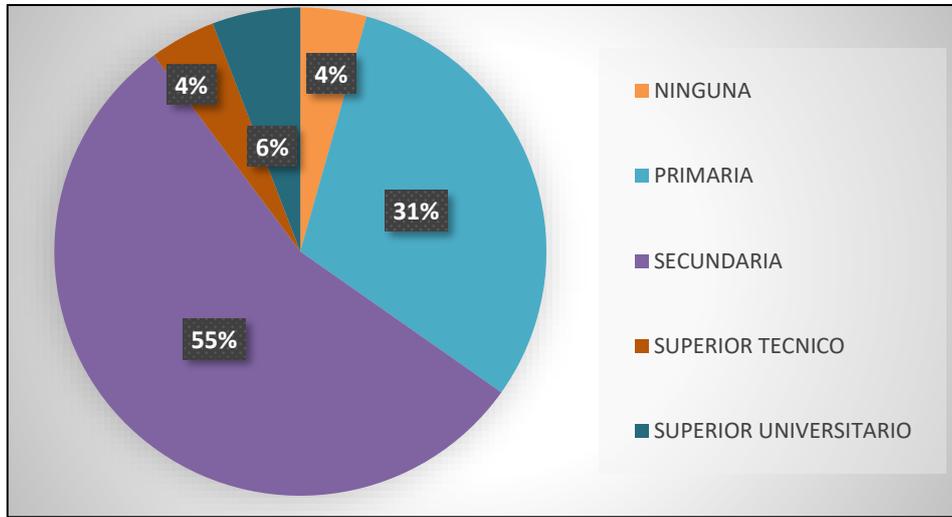
**Fuente:** Autora.

### 4.2.2. Educación

La educación de los entrevistados se refleja en la Figura 9, donde se observa que el 55% completó estudios de secundaria, el 31% alcanzó el nivel de educación primaria, el 6% tiene educación superior universitario, el 4% cuenta con educación superior técnica, y el 4% no asistió a ningún nivel educativo.

**Figura 9**

*Distribución por nivel de educación*



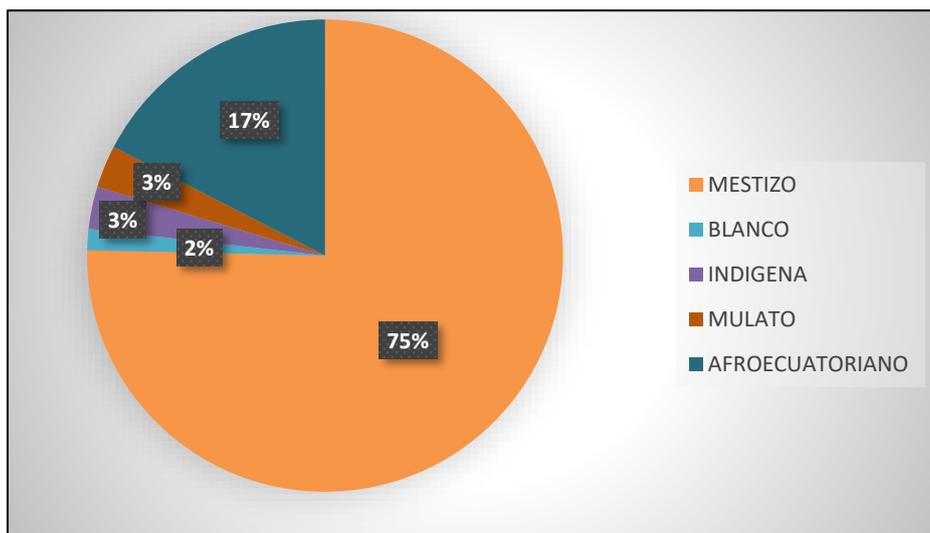
**Fuente:** Autora.

#### 4.2.3. Etnia

En la Figura 10, se aprecia que el 75% de la población encuestada pertenece a la etnia mestiza, mientras que el 17% se identifica como afroecuatoriana. El 3% representa a la población mulata, otro 3% corresponde a la etnia indígena y el restante 2% forma parte de la población blanca.

**Figura 10**

*Etnia de la población*



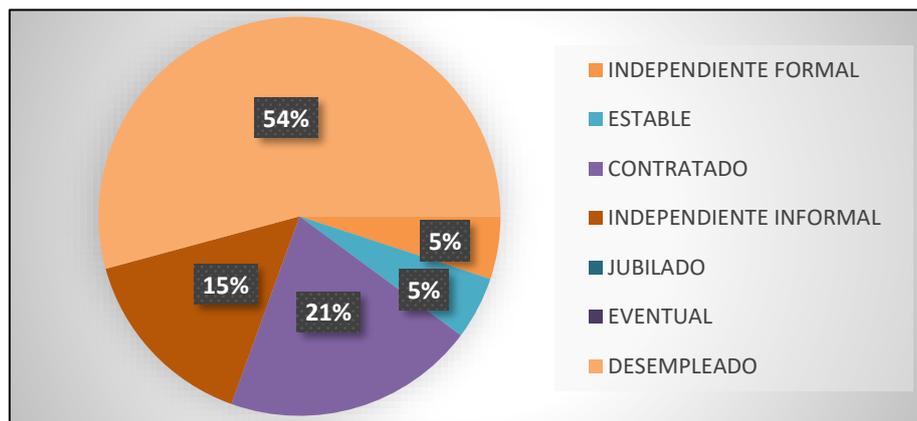
**Fuente:** Autora.

#### 4.2.4. Condición laboral

La Figura 11 presenta la condición laboral de la población encuestada. El 54% de la población se encuentra desempleada, el 21% está contratado, el 15% tiene una condición independiente informal, el 5% tiene una condición independiente formal, y el 5% ostenta una condición estable.

**Figura 11**

*Condición laboral de la población encuestada*



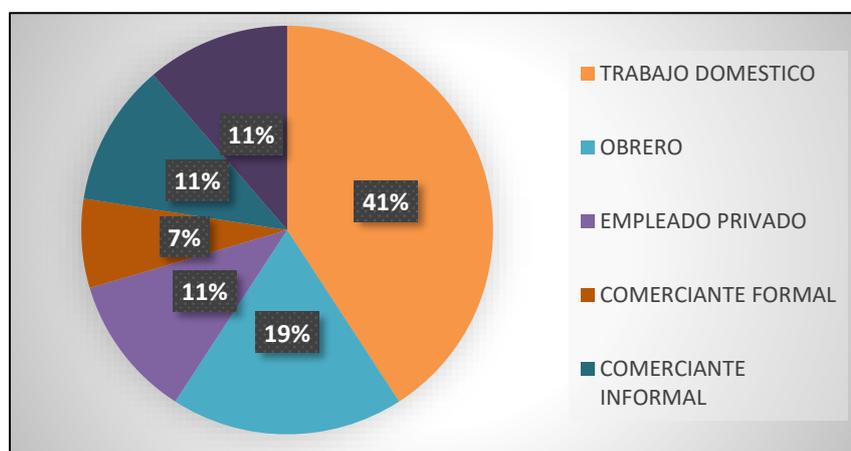
Fuente: Autora.

#### 4.2.5. Ocupación

En la Figura 12, que aborda la ocupación de la población encuestada, se observa que el 41% de la población se dedica a realizar trabajo doméstico. Además, el 19% tiene su ocupación como obrero, el 11% trabaja como empleado privado, otro 11% se desempeña como comerciante informal, mientras que un 11% ejerce como profesional. Por último, el 7% cuenta con una ocupación de comerciante formal.

**Figura 12**

*Ocupación de la población encuestada*



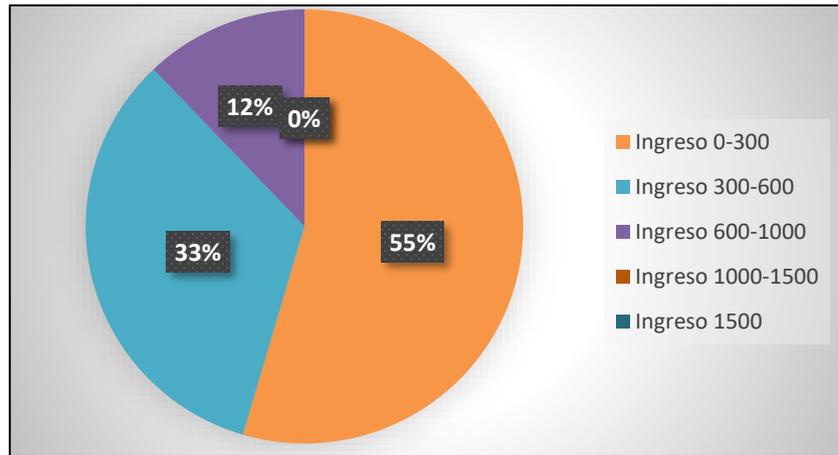
Fuente: Autora.

#### 4.2.6. Ingresos de la población

La Figura 13 presenta datos sobre los ingresos de la población encuestada. El 55% tiene ingresos de hasta 300 dólares, el 33% tiene ingresos en el rango de 300 a 600 dólares, y el 12% cuenta con ingresos entre 600 y 1000 dólares.

**Figura 13**

*Ingresos de la población encuestada*



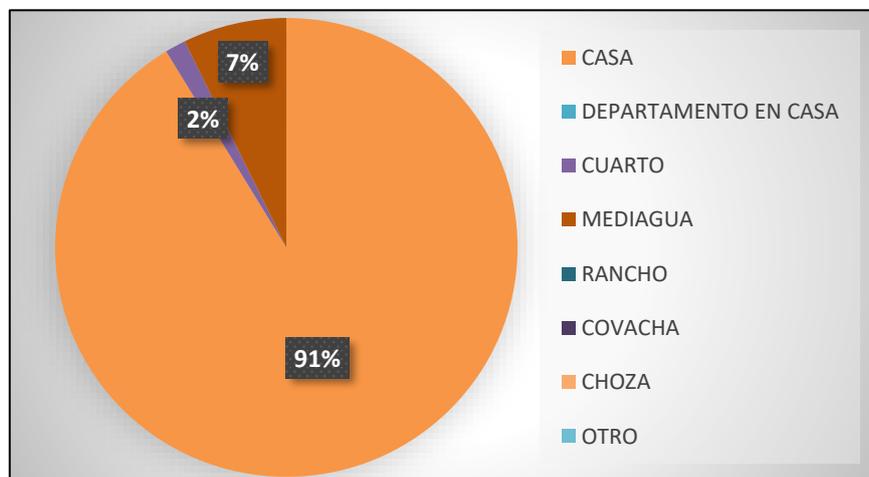
Fuente: Autora.

#### 4.2.7. Vivienda

La Figura 14 revela información sobre el tipo de vivienda de la población encuestada. Se destaca que el 91% reside en casas, mientras que el 7% lo hace en mediaguas y el 2% en cuartos.

**Figura 14**

*Tipo de viviendas*



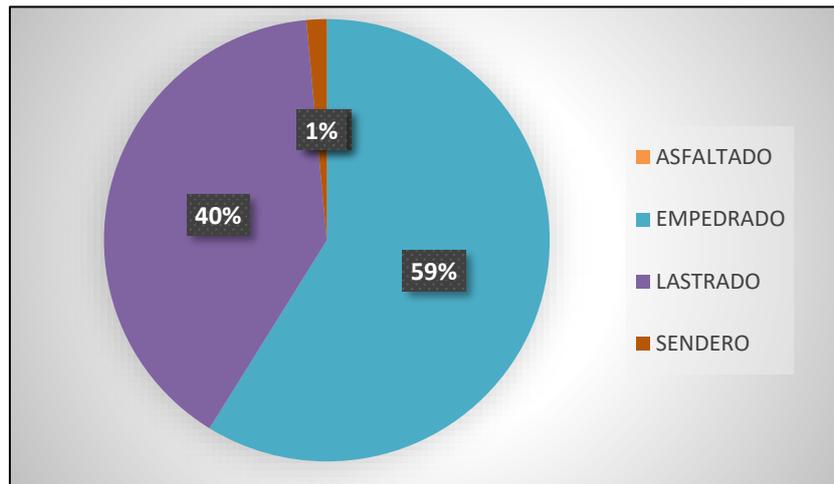
Fuente: Autora.

#### 4.2.8. Ingresos a las viviendas

La Figura 15 proporciona información sobre el tipo de acceso a las viviendas encuestadas. Se observa que el 59% de los accesos son empedrados, el 40% es alastrado y solo el 1% corresponde a un sendero como forma de ingreso.

**Figura 15**

*Ingreso a las viviendas*



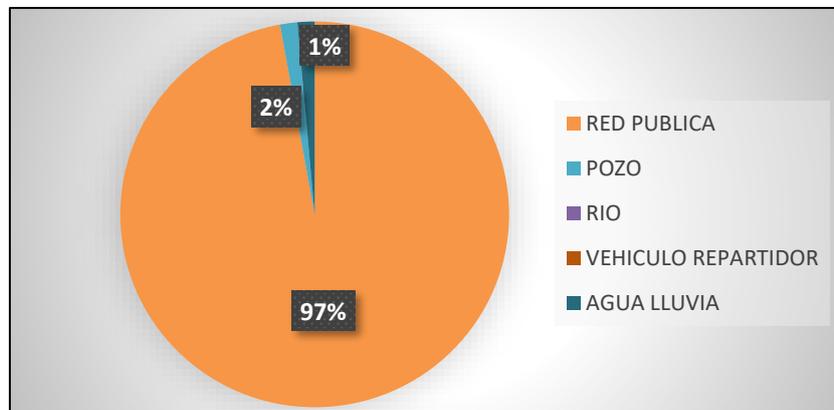
Fuente: Autora.

#### 4.2.9. Agua potable

La Figura 16 muestra que el 97% de la población recibe el servicio de agua potable a través de la red pública, mientras que el 2% utiliza agua de pozo y el restante 1% consume agua de lluvia.

**Figura 16**

*Servicio de agua*



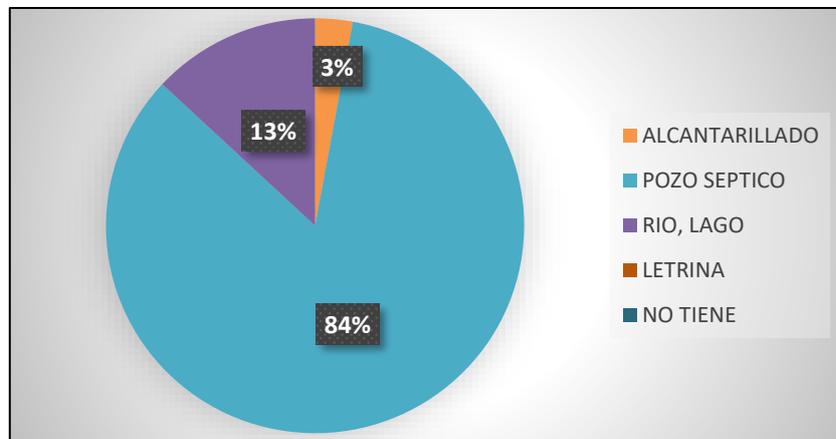
Fuente: Autora.

#### 4.2.10. Disposición de aguas servidas

La Figura 17 muestra que, en cuanto a la disposición de las aguas servidas, el 84% de la población utiliza pozos sépticos, el 13% las depositan directamente en los ríos y esteros, y el 3% las elimina a través del sistema de alcantarillado. A pesar de que la gran mayoría de las aguas están direccionadas hacia los pozos sépticos, es importante destacar que estos tienen desviaciones hacia los esteros debido a que no hay capacidad en estas unidades de tratamiento, de igual manera las aguas de lluvias no son canalizadas y también terminan en los esteros.

**Figura 17**

*Disposición de aguas residuales*



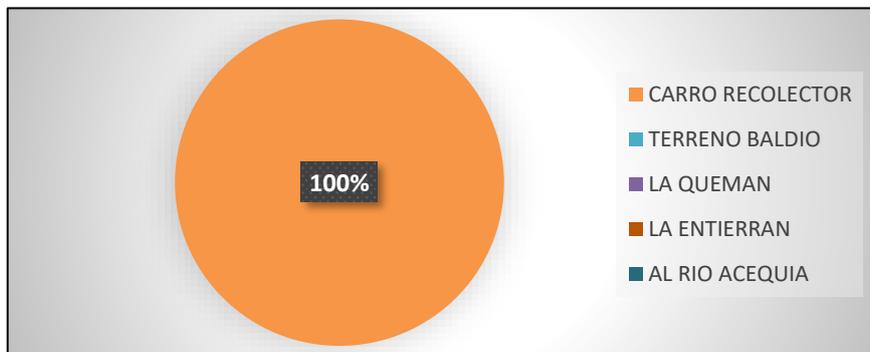
Fuente: Autora.

#### 4.2.11. Disposición de residuos

En la Figura 18 se presenta el manejo de los residuos sólidos en los hogares. En su totalidad, la disposición de residuos sólidos dentro de la población encuestada se lleva a cabo mediante el carro recolector municipal.

**Figura 18**

*Disposición de residuos*



Fuente: Autora.

### 4.3. Caracterización de las aguas residuales

En la Tabla 12, se presentan los resultados obtenidos del análisis del agua residual de la comunidad 25 de Febrero. Los valores reportados representan los promedios de las mediciones realizadas a las muestras compuestas semanalmente, comparándolos con los límites de descarga establecidos para un cuerpo de agua dulce y con los Límites de descarga al sistema de alcantarillado público del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (MAATE, 2015).

**Tabla 12**

*Caracterización de las aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero*

<b>Parámetros fisicoquímicos y biológicos</b>	<b>Valor medido</b>	<b>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Anexo 1 del Libro VI del TULSMA</b>	<b>Límites de descarga al sistema de alcantarillado Público. Anexo 1 del Libro VI del TULSMA</b>
Aceites y Grasas (mg/L)	22,5	0,3	100
Alcalinidad (mg/L)	23,8	-	-
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	>2400	2000	-
Conductividad (µS/cm)	241,8	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) (mg/L)	123,6	100	250
Demanda Química de Oxígeno (DQO) (mg/L)	331,1	250	500
Dureza (mg/L)	40	-	-
Fosfatos (mg/L)	1,5	-	-
Nitratos + Nitritos (mg/L)	0,7	10	-
Potencial de hidrógeno	6,6	5-9	5-9
Sólidos Sedimentables (ml/L)	0,6	1	20
Sólidos Suspendedos (mg/L)	19,8	100	220
Sólidos Totales (mg/L)	99,4	1600	1600
Sulfatos (mg/L)	18,2	1000	400
Turbidez (NTU)	20,8	-	-

**Fuente:** Autora.

Como se evidencia en la Tabla 12, algunos parámetros, como aceites y grasas, DBO, DQO y coliformes fecales, superan los límites permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (MAATE, 2015). Estos resultados indican que la contaminación de estas aguas se origina principalmente por desechos provenientes de actividades domésticas.

#### 4.4. Selección del sistema de tratamiento

En la Tabla 13 se exhibe el análisis de la implementación del método de factores ponderados para la elección del sistema de tratamiento secundario, contemplando la evaluación de:

- Sistema Anaerobio Tipo U.A.S.B
- Tanque Imhoff
- Pozo Séptico
- Lodos Activados
- Filtros Aerobios

**Tabla 13**

*Valoración cuantitativa de criterios*

Factor	Peso	Reactor U.A.S.B.		Tanque Imhoff		Pozo séptico		Lodos activados		Filtros aerobios	
		E	P	E	P	E	P	E	P	E	P
Eficiencia	90	2	180	0	0	-2	-180	4	360	4	360
Espacio	70	2	140	2	140	0	0	0	0	2	140
Mantenimiento	80	2	160	2	160	2	160	0	0	0	0
Costos	100	0	0	2	200	4	400	0	0	0	0
Procesos Extras	95	2	190	2	190	2	190	-2	-190	-2	-190
Condiciones de operación	85	2	170	2	170	2	170	2	170	0	0
Tiempo de tratamiento	65	2	130	0	0	-2	-130	4	260	2	130
Total ( $\Sigma$ )			970		860		610		600		440
Orden de prioridad			1		2		3		4		5

Fuente: Autora.

La Tabla 13 revela que después del análisis exhaustivo de los factores asociados a cada modalidad de unidad de tratamiento el Sistema más adecuado es el Reactor Anaerobio Tipo U.A.S.B., para llevar a cabo el tratamiento secundario de aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero.

A continuación, se presenta en la Tabla 14 el desglose detallado de cada unidad de tratamiento que integrará el sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad.

**Tabla 14**

*Selección del sistema de tratamiento*

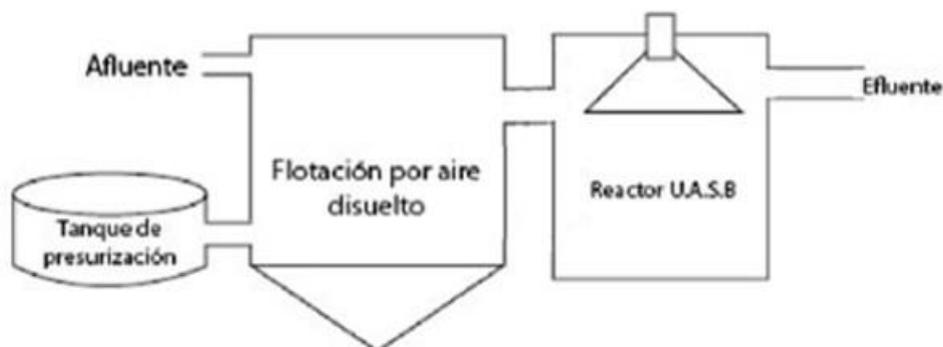
Tratamiento	Propósito del Proceso	Unidad
Pretratamiento y tratamiento Primario	Remoción eficiente de aceites, grasas y materia orgánica del agua, utilizando burbujas de aire finamente disueltas.	Flotación por Aire Disuelto (D.A.F)
Secundario	Elimina contaminantes inorgánicos y orgánicos (principalmente) presentes en el agua por medio de microorganismos que descomponen materia orgánica sin la necesidad de oxígeno, generando biogás y produciendo efluentes tratados que cumplen con estándares ambientales.	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (U.A.S.B)

Fuente: Autora.

En la Figura 19 se ilustra el tren del sistema de tratamiento propuesto, detallando cada unidad que conforma el sistema de depuración de aguas residuales de la comunidad 25 de Febrero.

**Figura 19**

*Tren del sistema de tratamiento*



Fuente: Autora.

#### 4.5. Dimensionamiento del sistema de tratamiento

El sistema de tratamiento se diseñó para un periodo mínimo de funcionamiento de 25 años. Por consiguiente, se determinó el caudal de diseño considerando la población proyectada para la comunidad hasta el año 2048. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Población futura y caudal de diseño*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Población futura (Hab)	1299
Caudal de diseño $\left(\frac{L}{s}\right)$	2,4

Fuente: Autora.

##### 4.5.1. Sistema de flotación por aire disuelto (D.A.F.)

Los parámetros y valores obtenidos para el dimensionamiento del sistema de flotación por aire disuelto se encuentran detallados en la Tabla 16, mientras que la representación visual del equipo se muestra en la Figura 20.

**Tabla 16**

*Parámetros de diseño para el dimensionamiento del sistema de flotación por aire disuelto*

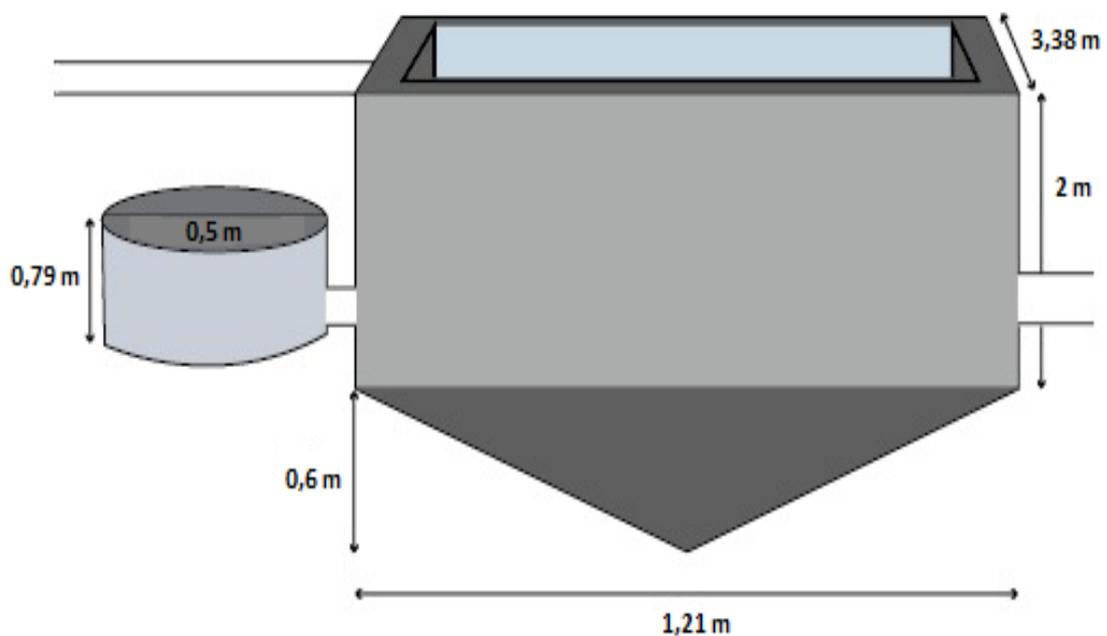
<b>Parámetro</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Caudal recirculado presurizado	$Q_R$	$\frac{L}{S}$	0,96
Solubilidad del aire	$C_T$	$\frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}}$	69,86
Cantidad de aire liberado	$C_T - C_L$	$\frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}}$	16,93
Relación aire/sólidos	$\frac{A}{S}$		0,79
Cantidad de lodo producido	$m_{lodos}$	$\frac{kg}{h}$	0,14
Área superficial del tanque de flotación	$A_S$	$m^2$	2,42
Volumen del tanque de flotación	$V_{prisma}$	$m^3$	8,18

Ancho del tanque de flotación	$A_{\text{prisma}}$	m	3,38
Largo del tanque de flotación	$L_{\text{prisma}}$	m	1,21
Altura tanque de flotación	$H_{\text{prisma}}$	m	2
Volumen del tanque de flotación	$V_{\text{pirámide}}$	$\text{m}^3$	2,3
Altura tanque de flotación	$H_{\text{pirámide}}$	m	0,6
Volumen total del tanque de flotación	$V_{\text{flot}}$	$\text{m}^3$	10,46
Volumen tanque de presurización	$V_{\text{pres}}$	$\text{m}^3$	0,16
Altura tanque de presurización	$h$	m	0,79
Diámetro tanque de presurización	$\varnothing_{\text{pres}}$	m	0,5

Fuente: Autora.

**Figura 20**

*Sistema de flotación por aire disuelto*



Fuente: Autora.

Después de determinar los porcentajes de eliminación de contaminantes utilizando los rendimientos recomendados por Romero (1999), se presenta en la Tabla 17 la concentración final de los contaminantes después de pasar por este sistema de tratamiento. Se observa que los niveles de aceites y grasas todavía exceden los límites permitidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente del MAATE (2015), pero esa concentración es lo suficientemente baja para no afectar el funcionamiento del sistema biológico, donde terminara de reducirse este parámetro.

**Tabla 17**

*Balace de remoción del Sistema D.A.F.*

Parámetro	% Remoción	% Seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SST	70-90	83	19,8	3,4
DBO	10-50	30	123,6	86,5
DQO	10-25	20	331,1	264,9
Aceites y Grasas	60-95	95	22,5	1,1

Fuente: Autora.

#### 4.5.2. Reactor Anaerobio U.A.S.B.

Los parámetros y valores obtenidos para el dimensionamiento del reactor anaerobio U.A.S.B., se encuentran detallados en la Tabla 18, mientras que la representación visual del equipo se muestra en la Figura 21.

**Tabla 18**

*Parámetros de diseño para el dimensionamiento del Reactor U.A.S.B.*

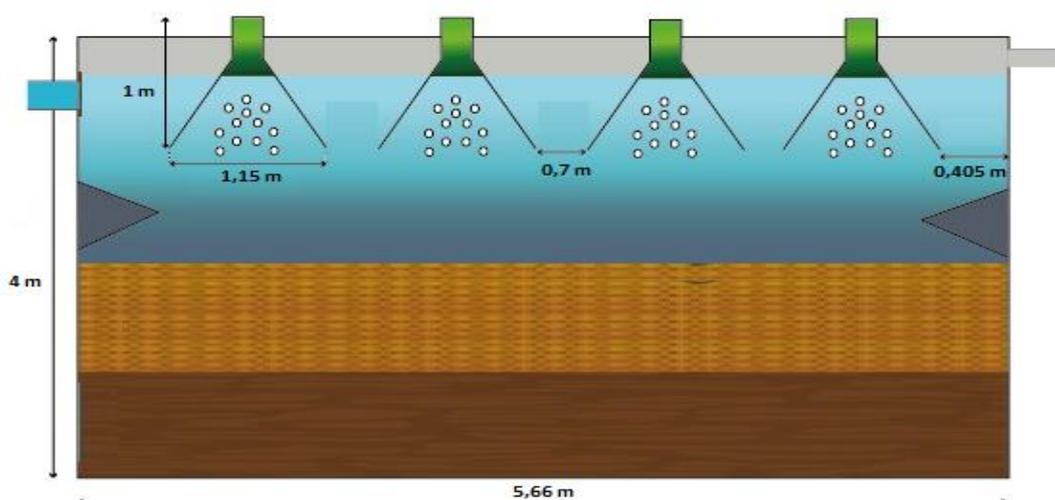
Parámetro	Nomenclatura	Unidad	Valor
Gasto afluente promedio	$Q_{ip}$	$\frac{m^3}{d}$	207,84
Gasto afluente máximo horario	$Q_{max-h}$	$\frac{m^3}{d}$	640,15
Carga de DQO en el afluente	$L_0$	$\frac{kg}{d}$	68,81
Tiempo de retención hidráulica	TRH	h	8
Volumen del reactor	$V_U$	$m^3$	69,28
Altura del reactor	H	m	4
Área del reactor	A	$m^2$	19,79
Largo del reactor	L	m	5,66
Carga hidráulica volumétrica	CHV	$\frac{m^3}{m^3 \cdot d}$	3

Carga orgánica volumétrica	COV	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}}$	0,99
Velocidad de flujo ascendente para Qip	v	$\frac{\text{m}}{\text{h}}$	0,4
Velocidad de flujo ascendente para Qmax-h	v	$\frac{\text{m}}{\text{h}}$	1,34
Número de tubos de distribución del agua residual	N <sub>d</sub>		10
Eficiencia de remoción de la DQO, estimada	E <sub>DQO</sub>	%	67
Eficiencia de remoción de la DBO, estimada	E <sub>DBO</sub>	%	75
Producción estimada de metano	Q <sub>CH<sub>4</sub></sub>	$\frac{\text{m}^3}{\text{d}}$	12
Producción estimada de biogás (considerando un contenido de metano de 75% en el biogás)	Q <sub>g</sub>	$\frac{\text{m}^3}{\text{d}}$	17
Número de colectores de gas			3
Aberturas del sedimentador			2
Compartimentos del sedimentador			1
Producción del lodo	P <sub>L</sub>	$\frac{\text{kg}}{\text{d}}$	12,4
Volumen de lodo	V <sub>L</sub>	$\frac{\text{m}^3}{\text{d}}$	0,3
Altura del colector de gas	h <sub>C</sub>	m	1
Distancia horizontal de un lado del colector	x	m	0,405
Ancho real del colector	z	m	1,15
Separación entre colectores		m	0,7
Diseño del canal de salida Ancho	B <sub>e</sub>	m	0,4
Diseño del canal de salida, Profundidad	h	m	0,35

Fuente: Autora

**Figura 21**

*Esquema del Reactor U.A.S.B.*



Fuente: Autora.

Después de determinar los porcentajes de remoción de contaminantes, siguiendo las eficiencias recomendadas por la Comisión Nacional del Agua (2015), la Tabla 19 exhibe las concentraciones finales de los contaminantes al concluir el proceso de tratamiento. Es evidente que los parámetros que originalmente presentaban niveles elevados ahora se ajustan a los límites establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente del (MAATE, 2015).

**Tabla 19**

*Balace de remoción del sistema U.A.S.B.*

Parámetro	% Remoción	% Seleccionado	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)
SST	60-70	65	3,4	1,2
DBO	65-80	75	86,5	21,6
DQO	60-80	67	264,9	87,4
Nitritos + Nitratos	10-25	25	0,7	0,5
Aceites y Grasas	65-80	80	1,1	0,2

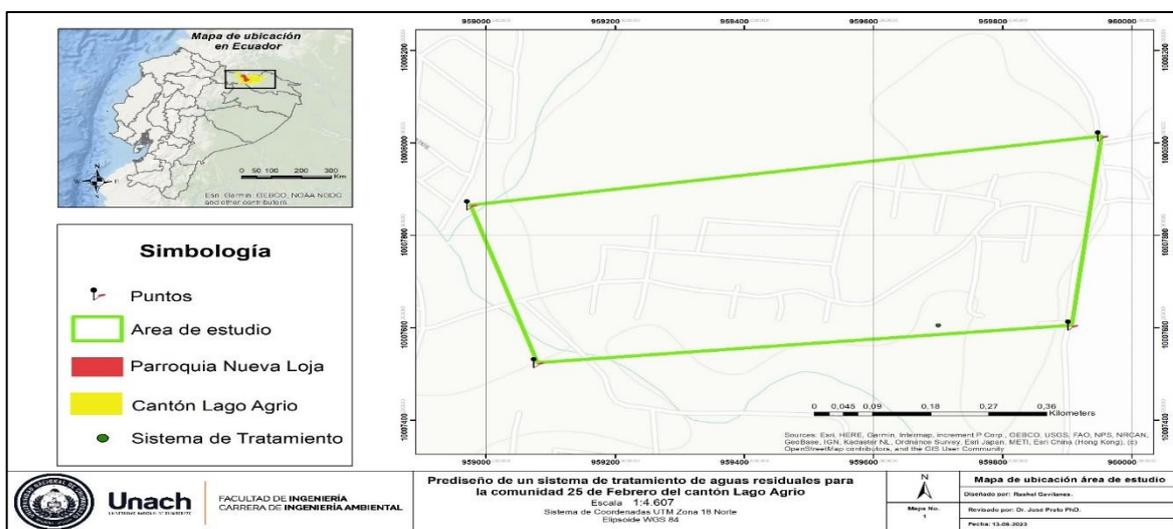
Fuente: Autora.

#### 4.6. Propuesta de la ubicación más adecuada para el sistema de tratamiento

Después de analizar tres aspectos claves para determinar la mejor ubicación del sistema de tratamiento de la comunidad, como fueron: mitigación de impactos ambientales, orografía y topografía, así como costos y viabilidad constructiva, se propone que la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad 25 de Febrero se sitúe en las coordenadas geográficas WGS84 18N, la abscisa 251580 al Este y la ordenada 7460 al Norte. Esto se visualiza en la Figura 22, donde se identifica con el color amarillo.

**Figura 22**

*Ubicación para el sistema de tratamiento de la comunidad 25 de Febrero*



Fuente: Autora.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

La descripción biofísica y socioeconómica de la comunidad 25 de Febrero proporcionó una visión integral que orientó el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales adaptado a las necesidades y realidades específicas de la comunidad. Este enfoque fue fundamental para proteger el ambiente y mejorar la calidad de vida de los residentes.

La caracterización del agua residual de la comunidad reveló valores que excedían los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente del MAATE (2015). Los parámetros registrados fueron los siguientes: aceites y grasas (22,5 mg/L), DBO<sub>5</sub> (123,6 mg/L), DQO (331,1 mg/L), y coliformes fecales (>2400 NMP/100 mL).

La selección y diseño de las unidades de tratamiento se basó en los parámetros que excedían los límites permitidos, considerando un caudal de 2,4 L/s. En este sentido, se empleó el Sistema de Flotación por Aire Disuelto (D.A.F) como pretratamiento y tratamiento primario, mientras que se aplicó un Reactor U.A.S.B. como tratamiento secundario. La efectividad del dimensionamiento y diseño de cada unidad de tratamiento se evaluó mediante el porcentaje de remoción de contaminantes teóricamente previsto para cada unidad. Este enfoque permitió ajustar los parámetros para cumplir con los límites permisibles, logrando altas tasas de remoción de contaminantes, como aceites y grasas, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitratos, nitritos y sólidos en suspensión, en el efluente de la comunidad 25 de Febrero.

La ubicación más adecuada para la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad 25 de febrero se determinó considerando varios factores clave. Primero, se aseguró de que estuviera fuera de la zona de influencia directa de viviendas o predios ocupados, manteniendo una distancia mínima de 50 metros para garantizar la seguridad y salud de los residentes. Además, se tuvo en cuenta la topografía del terreno y la dirección del flujo de los cuerpos de aguas naturales, optando por una ubicación aguas debajo de estos para evitar riesgos de inundación y erosión. Finalmente, se consideraron aspectos económicos, procurando que la ubicación fuera lo más rentable posible en términos de recursos materiales y humanos necesarios para su construcción. En base a estos criterios, se sugiere que la planta de tratamiento se ubique en las coordenadas geográficas WGS84 18N, con una abscisa de 251580 al Este y una ordenada de 7460 al Norte.

### **5.2. Recomendaciones**

#### **1. Elaboración de Manual de Procedimientos:**

Desarrollar un detallado manual técnico de especificaciones para el manejo y funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales. Este manual debe servir como guía durante la construcción y operación de la planta.

## **2. Capacitación del Personal:**

Ofrecer cursos de capacitación para el personal encargado del seguimiento operacional del tratamiento. Esto garantizará que el equipo esté debidamente preparado para operar y mantener la planta eficientemente.

## **3. Análisis de Calidad del Agua Residual:**

Realizar análisis de calidad del agua residual antes y después de la implementación de la planta de tratamiento. Esto proporcionará registros que reflejen el rendimiento de las unidades y de la planta en su conjunto una vez en funcionamiento.

## **4. Mejora en el tratamiento del agua:**

Incorporar a futuro un tratamiento terciario de desinfección para eliminar los microorganismos patógenos que se encuentran en el agua, entre ellos los coliformes fecales, con el fin de garantizar una mayor seguridad en su descarga

## **5. Desarrollo de Labores de Mantenimiento:**

Implementar labores de mantenimiento preventivo en la planta de tratamiento. Esto ayudará a prevenir posibles fallos en las unidades, evitando gastos innecesarios derivados de reparaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA, AWWA, & WPCF. (2017). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (9ª edición). Díaz de Santos. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=307542>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (3ª edición). McGraw-Hill.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica* (6ª edición). Episteme, C.A. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigación-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Bofill, S., Clemente, P., Albiñana, N., Maluquer de Motes, C., Hundesa, A., & Girones, R. (2005). Efectos sobre la Salud de la Contaminación de Agua y Alimentos por Virus Emergentes Humanos. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 253–255. <https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200012>
- Burgos, J., Forero, L., & Rojas, J. (2015). *Propuesta técnica para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Restrepo, Meta*. [Universidad Cooperativa de Colombia]. <http://hdl.handle.net/20.500.12494/12346%0A>
- Cabrera, D., & Vargas, Y. (2022). *Estimación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en aguas residuales de las empresas de jeans de la ciudad de Pelileo utilizando redes neuronales artificiales* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34978?locale=en>
- Carita, M. (2012). *Estudio de calidad microbiológica de aguas residuales, procedentes de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales* [Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/22869/TE-1839.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente* (1ª edición). [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA\\_2015\\_Manual\\_Reactores\\_anaerobios\\_de\\_flujo\\_asce.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA_2015_Manual_Reactores_anaerobios_de_flujo_asce.pdf)
- Empresa Pública Municipal De Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio. (2023). *Estudio*

*para el Sistema de Agua Servidas para el Barrio 25 de Febrero, Parroquia Nueva Loja, Cantón Lago Agrio, Provincia de Sucumbíos (Vol. 1).*

Fluence Corporation Limited. (2018). *Flotación de Aire Disuelto*. Fluence. <https://www.fluencecorp.com/es/flotacion-aire-disuelto/>

Glynn, J., & Heinke, G. (2000). *Ingeniería Ambiental* (2ª edición). Pearson. [https://www.academia.edu/10356057/Ingenieria\\_Ambiental\\_2\\_ED\\_J\\_Glynn\\_Henry\\_and\\_Gary\\_W\\_Heinke](https://www.academia.edu/10356057/Ingenieria_Ambiental_2_ED_J_Glynn_Henry_and_Gary_W_Heinke)

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Lago Agrio. (2021). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Lago Agrio. In *GADM -Lago Agrio* (Vol. 2). [http://lagoagrio.gob.ec/alcaldia/files/descargas/PDOT/PDOT\\_LAGO\\_AGRIO\\_FINAL\\_24-02-2021.pdf](http://lagoagrio.gob.ec/alcaldia/files/descargas/PDOT/PDOT_LAGO_AGRIO_FINAL_24-02-2021.pdf)

HACH COMPANY. (2000). *Manual de Análisis de Agua: Procedimientos fotométricos, Procedimientos de titulación, Procedimientos microbiológicos*. (2ª edición). <https://www.studocu.com/ec/document/escuela-superior-politecnica-de-chimborazo/modelos-y-procesos-de-investigacion-analisis-de-resultados-de-investigacion/water-analysis-manual-spanish-manual-de-analisis-de-agua/12174996>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Promedio de Personas por Hogar a Nivel Nacional*. Censo de Población y Vivienda. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/ecuador-crecio-en-2-5-millones-de-personas-entre-2010-y-2022/>

MAATE. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-mar.-2003*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

Mendoza, K. (2023). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Parroquia Arq . Sixto Durán Ballén del cantón 24 de Mayo* [Universidad Estatal Del Sur De Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5164>

Metcalf, & Eddy. (2002). *Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales* (7ª edición). Labor S.A.

- Mora, J., & Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología En Marcha*, 23. <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2056/servlet/articulo?codigo=4835746>
- Niama, G. (2016). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Barrio El Carmen en el Cantón Chambo* [Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6513>
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2017). Informe mundial sobre el desarrollo de los recursos hídricos de las Naciones Unidas. In *UNESCO*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa)
- Raffo, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las Aguas Residuales y la Demanda Bioquímica de Oxígeno. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 106(22). <https://doi.org/10.1021/ja00334a047>
- Rodríguez de Jorge, L. (2020). El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes. *I Agua*. <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Romero, J. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño* (3ª edición). Escuela Colombiana de Ingeniería. [https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)
- Ronquillo, R. (2016). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residuales para ser utilizada en el riego del Parque Samanes* [Universidad De Guayaquil]. <https://docplayer.es/64109163-Diseno-de-una-planta-de-tratamiento-de-agua-residuales-para-ser-utilizada-en-el-riego-del-parque-samanes.html>
- Sabino, C. (1992). *El Proceso de Investigación* (3ª edición, Vol. 4). Ed. Panamericana y Ed. Lumen Humánitas. <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35032164/55-sabino-pp1-92.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1518968529&Signature=z2UyLbNGjtlUVNjrHJ9ueRKqmIE%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3D55-sabino-pp1-92.pdf>
- Sakurai, K. (1983). Método Sencillo del Análisis de Residuos Sólidos. *Hojas de Divulgación*

*Técnica CEPIS.* <https://es.scribd.com/document/273750297/CEPIS-OPS-HDT-17-Metodo-sencillo-del-analisis-de-residuos-solidos-pdf>

Samaniego, W. (2022). *Prediseño de una Planta de Tratamiento de las Aguas Residuales de la Empresa de Lácteos “El Pajonal”* [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9420>

Sánchez, J., & Román, S. (2020). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales Industriales para una empresa Empacadora y Exportadora de Camarón en la ciudad de Guayaquil* [Universidad Politécnica Salesiana]. In *Universidad Politécnica Salesiana*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19149>

Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). *Química para ingeniería ambiental* (4ª edición). McGraw-Hill.

Vázquez, E., & Rojas, T. (2016). *pH: Teoría y 232 Problemas* (1ª edición). Universidad Autónoma Metropolitana. <https://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1. Fotografías de la comunidad 25 de Febrero y encuestas realizadas



**Fotografía 1.** Comunidad 25 de Febrero



**Fotografía 2.** Comunidad 25 de Febrero



**Fotografía 3.** Aplicación de encuestas



**Fotografía 4.** Aplicación de encuestas

## Anexo 2. Materiales utilizados durante el muestreo de las aguas residuales

### Materiales de muestreo

- Cuerda
- Embudo de plástico
- Balde de plástico de 20 L
- Envase de vidrio color ámbar de 1 L
- Frasco de plástico estéril de 100 ml
- Hielera y hielo
- Cámara fotográfica
- Guantes estériles



**Fotografía 5.** Recolección de muestra de aguas residuales



**Fotografía 6.** Recolección de muestra de aguas residuales en balde de plástico



**Fotografía 7.** Recolección de muestra de aguas residuales en frasco de vidrio



**Fotografía 8.** Transporte de la muestra de aguas residuales en hielera

### Anexo 3. Materiales y equipos empleados en los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

#### Materiales

- Libreta de apuntes.
- Pipeta de 1,2,10, 25 mL
- Vasos de precipitación de 10, 50, 25 mL
- Probetas de 10 y 50 mL
- Matraz Erlenmeyer de 50 mL
- Embudo
- Crisol de 30 g
- Matraz aforado de 10 y 100 mL
- Soporte universal
- Pinza para crisol
- Cono Imhoff
- Celdas de vidrio de 10 y 25 mL
- Pera de succión de tres vías

#### Equipos

- Espectrofotómetro visible DR 5000
- pH-metro
- Multiparámetro HACH HQ40d
- Estufa
- Balanza analítica
- Sistema DBO
- Desecador



**Fotografía 9.** Análisis de aceites y grasas



**Fotografía 10.** Análisis de sólidos disueltos



**Fotografía 11.** Análisis de DBO



**Fotografía 12.** Análisis de alcalinidad



**Fotografía 13.** Análisis de dureza



**Fotografía 14.** Análisis de sulfatos



**Fotografía 15.** Análisis de coliformes fecales



**Fotografía 16.** Análisis de coliformes fecales



**Fotografía 17.** Análisis de coliformes fecales



**Fotografía 18.** Análisis de coliformes fecales

#### Anexo 4. Cálculos de dimensionamiento del sistema de tratamiento

##### a) Sistema de flotación por aire disuelto (D.A.F)

- Caudal recirculado presurizado

Para calcular el caudal recirculado, se tomó en cuenta un porcentaje de recirculación del 40 % utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_R = Q * \%R \quad (4)$$

**Donde:**

Q: Caudal de ingreso al sistema de flotación (L/s)

R: Porcentaje de reciclo (%)

- Solubilidad del aire

Para calcular la solubilidad de saturación del aire, se tomó en cuenta una presión de operación del tanque igual a 50 psi y una presión de vapor del agua a 27 °C, utilizando la siguiente ecuación:

$$C_T = C * \frac{P_T - P_V}{760 - P_V} \quad (5)$$

**Donde:**

C: Solubilidad del aire en agua, a presión de una atmósfera (mL aire/L de agua)

P<sub>T</sub>: Presión absoluta del aire (mmHg)

P<sub>V</sub>: Presión de vapor de agua (mmHg)

Para calcular la Solubilidad de saturación del aire a la presión local atmosférica de Nueva Loja igual a 14,66 psi, se toma en cuenta la presión de vapor del agua a 27 °C utilizando la siguiente ecuación:

$$C_L = C * \frac{P_L - P_V}{760 - P_V} \quad (6)$$

**Donde:**

C: Solubilidad del aire en agua, a presión de una atmósfera (mL aire/L de agua)

P<sub>L</sub>: Presión local atmosférica (mmHg)

P<sub>V</sub>: Presión de vapor de agua (mmHg)

- **Cantidad de aire liberado**

La cantidad de aire liberado en el tanque de flotación se lo logra a partir de la diferencia de solubilidades utilizando la siguiente ecuación:

$$C_T - C_L = C * \frac{f * P_T - P_V - P_L - P_V}{760 - P_V} \quad (7)$$

**Donde:**

C<sub>T</sub>: Solubilidad de saturación del aire a la presión de operación del tanque (mL aire/L de agua)

C<sub>L</sub>: Solubilidad del aire en agua, a la presión absoluta (mL aire/L de agua)

C: Solubilidad del aire en agua, a presión de una atmósfera (mL aire/L de agua)

f: Fracción de saturación, alcanzada en el tanque de presurización, generalmente 0,5-0,8

P<sub>T</sub>: Presión de operación del tanque (mmHg)

P<sub>V</sub>: Presión de vapor de agua a 27°C (mmHg)

P<sub>L</sub>: Presión local atmosférica (mmHg).

- **Relación aire sólidos (A/S)**

Para calcular la relación (A/S) para un sistema con recirculación, requerida para lograr un determinado grado de clarificación, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{S} = \frac{C * d * Q_R * f * P_T - P_V - P_L - P_V}{S_0 * Q * 760 - P_V} \quad (8)$$

**Donde:**

- C: Solubilidad del aire en agua, a presión de una atmósfera (mL aire/L de agua)
- d: Densidad de aire a las condiciones del problema (mg/mL)
- $Q_R$ : Caudal recirculado presurizado (L/s)
- f: Fracción de saturación, alcanzada en el tanque de presurización, generalmente 0,5-0,8
- $P_T$ : Presión de operación del tanque (mmHg)
- $P_V$ : Presión de vapor de agua a la temperatura de operación 27°C (mmHg)
- $P_L$ : Presión local atmosférica (mmHg)
- $S_0$ : Concentración de sólidos suspendidos del afluente (mg/mL)
- Q: Caudal de ingreso al sistema de flotación (L/s)

- **Cantidad de lodo producido**

La cantidad de lodo producido por sólidos en suspensión se calcula con la siguiente ecuación:

$$m_{\text{Lodos}} = S_0 - S_f * Q \quad (9)$$

**Donde:**

$S_0$ : Concentración de sólidos suspendidos a la entrada (mg/L)

$S_f$ : Concentración de sólidos suspendidos a la salida (mg/L)

Q: Caudal de ingreso al sistema de flotación (L/h)

- **Cantidad de coagulante químico**

Para determinar la cantidad de coagulante químico que se debe aplicar al efluente al ingreso del tanque de flotación, se utiliza la siguiente ecuación:

$$m_{\text{químico}} = Q * C_Q \quad (10)$$

**Donde:**

Q: Caudal de ingreso al sistema de flotación ( $m^3/h$ )

$C_Q$ : Concentración de coagulante químico ( $g/m^3$ )

- **Área superficial del tanque de flotación**

Para calcular el área superficial del tanque de flotación, se utiliza la siguiente ecuación:

$$A_S = \frac{Q + Q_R}{C_S} \quad (11)$$

**Donde:**

Q: Caudal de ingreso al sistema de flotación ( $m^3/día$ )

$Q_R$ : Caudal recirculado presurizado ( $m^3/día$ )

$C_S$ : Carga superficial ( $m^3/m^2*día$ )

- **Volumen del tanque de flotación (prisma rectangular)**

Para determinar el volumen del prisma rectangular se considera un tiempo de retención de 30 minutos y un factor de seguridad de 1,35. El cálculo se detalla en la siguiente ecuación:

$$V_{prisma} = (Q + Q_R) * t_{flot} * f \quad (12)$$

**Donde:**

Q: Caudal de ingreso al sistema de flotación ( $m^3/día$ )

$Q_R$ : Caudal recirculado presurizado ( $m^3/día$ )

$t_{flot}$ : Tiempo de retención en el tanque de flotación (día)

- **Ancho del tanque de flotación (prisma rectangular)**

Una vez calculado el área superficial y el volumen, se procede a determinar el ancho del prisma rectangular con la siguiente ecuación:

$$A_{prisma} = \frac{V_{prisma}}{A_S} \quad (13)$$

**Donde:**

$V_{prisma}$ : Volumen del prisma rectangular ( $m^3$ )

$A_S$ : Área superficial del tanque de flotación ( $m^2$ )

- **Largo del tanque de flotación (prisma rectangular)**

Para determinar el largo del prisma rectangular se consideró una altura máxima del tanque de flotación de 3 metros utilizando la siguiente ecuación:

$$V_{\text{prisma}} = A_{\text{prisma}} * H_{\text{prisma}} * L_{\text{prisma}} \quad (14)$$

**Donde:**

$V_{\text{prisma}}$ : Volumen del prisma rectangular ( $m^3$ )

$A_{\text{prisma}}$ : Ancho del prisma rectangular (m)

$H_{\text{prisma}}$ : Altura del prisma rectangular (m)

- **Volumen del tanque de flotación (pirámide rectangular)**

El volumen de la pirámide rectangular forma parte del volumen total del tanque de flotación, para eso se ha considerado una altura de 0,60 m para su diseño y se detalla en la siguiente ecuación:

$$V_{\text{piramide}} = \frac{A_{\text{base}} * h_{\text{piramide}}}{3} \quad (15)$$

**Donde:**

$A_{\text{base}}$ : Área de la base ( $m^2$ )

$H_{\text{pirámide}}$ : Altura (m).

- **Volumen del tanque de flotación**

Una vez calculado el volumen del prisma y pirámide rectangular, el volumen total del tanque de flotación se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{flot}} = V_{\text{prisma}} + V_{\text{piramide}} \quad (16)$$

**Donde:**

$V_{\text{prisma}}$ : Volumen del prisma rectangular ( $m^3$ )

$V_{\text{piramide}}$ : Volumen de la pirámide rectangular ( $m^3$ )

- **Volumen del tanque de presurización**

El volumen del tanque de presurización dependerá del caudal de recirculación y el tiempo de retención del agua en el tanque, para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$V_{\text{pres}} = Q_{\text{R}} * t_{\text{pres}} * f \quad (17)$$

**Donde:**

$Q_{\text{R}}$ : Caudal recirculado presurizado (L/s)

$t_{\text{pres}}$ : Tiempo de retención en el tanque de presurización (s)

f: Factor de seguridad de 1,35

- **Altura del tanque de presurización**

Para la determinación de la altura del tanque de presurización se toma en cuenta un diámetro de presurización igual a 1,2 metros que se detalla en la siguiente ecuación:

$$V_{\text{pres}} = \pi * r^2 * h \quad (18)$$

**Donde:**

r: Radio del tanque de presurización (m)

$V_{\text{pres}}$ : Volumen del tanque de presurización (m<sup>3</sup>)

**b) Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (U.A.S.B)**

- **Carga de DQO en el afluente promedio**

Para calcular la carga de DQO en el afluente promedio, se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_o = S_o * Q_{ip} \quad (19)$$

**Donde:**

$S_o$ : DQO afluente (kg/m<sup>3</sup>)

$Q_{ip}$ : Gasto afluente promedio (m<sup>3</sup>/día)

- **Volumen del reactor**

Para determinar el volumen del reactor, se ha considerado un tiempo de retención hidráulica de 8 horas el cual se aplica en la siguiente ecuación:

$$V = Q_{ip} * t \quad (20)$$

**Donde:**

$Q_{ip}$ : Gasto afluente promedio ( $m^3/día$ )

t: Tiempo de residencia hidráulica (días)

- **Área del reactor**

Para determinar el área del reactor se establece un valor para la altura igual a 4 metros utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{V_U}{H} \quad (21)$$

**Donde:**

$V_U$ : Volumen del reactor ( $m^3$ )

H: Altura del reactor (m)

- **Largo del reactor**

El largo del reactor se determina con la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A}{H} \quad (22)$$

**Donde:**

A: Área del reactor ( $m^2$ )

H: Altura del reactor (m)

- **Carga hidráulica volumétrica**

Se determina la carga hidráulica volumétrica por medio de la siguiente ecuación:

$$CHV = \frac{Q_{ip}}{V} \quad (23)$$

**Donde:**

Q<sub>ip</sub>: Gasto afluente promedio (m<sup>3</sup>/día)

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

- **Carga orgánica volumétrica**

Se determina la carga orgánica volumétrica por medio de la siguiente ecuación:

$$COV = \frac{Q_{ip} * S_0}{V} \quad (24)$$

**Donde:**

Q<sub>ip</sub>: Gasto afluente promedio (m<sup>3</sup>/día)

S<sub>0</sub>: DQO afluente (kg/m<sup>3</sup>)

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

- **Velocidad de flujo ascendente para Q<sub>ip</sub>**

Se determina la velocidad de flujo ascendente para Q<sub>ip</sub> por medio de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q_{ip}}{A_t} \quad (25)$$

**Donde:**

Q<sub>ip</sub>: Gasto afluente promedio (m<sup>3</sup>/día)

A<sub>t</sub>: Área del reactor (m<sup>2</sup>)

- **Velocidad de flujo ascendente para Q<sub>max-h</sub>**

Se determina la velocidad de flujo ascendente para Q<sub>max-h</sub> por medio de la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q_{maxh}}{A_t} \quad (26)$$

**Donde:**

Qmaxh: Gasto afluente máximo horario (m<sup>3</sup>/día)

A<sub>t</sub>: Área del reactor (m<sup>2</sup>)

- **Sistemas de distribución del agua residual**

Para calcular el número de tubos de distribución del agua residual, se ha establecido un área de influencia de 2 metros cuadrados por tubo de distribución, el cual se detalla en la siguiente ecuación:

$$Nd = \frac{A_t}{A_d} \quad (27)$$

**Donde:**

A<sub>t</sub>: Área del reactor (m<sup>2</sup>)

A<sub>d</sub>: Área de influencia por tubo de distribución (m<sup>2</sup>)

- **Eficiencia de remoción de la DQO**

Se estima la eficiencia de remoción de la DQO del sistema, utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 * t^{-0,35}) \quad (28)$$

- **Eficiencia de remoción de la DBO**

Se estima la eficiencia de remoción de la DQO del sistema, utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,70 * t^{-0,50}) \quad (29)$$

- **Estimación de las concentraciones de DQO y DBO en el efluente final**

Se estima las concentraciones de DQO Y DBO en el efluente final, utilizando la siguiente ecuación:

$$C_{\text{efl}} = S_0 - \frac{(E * S_0)}{100} \quad (30)$$

**Donde:**

$S_0$ : DQO o DBO afluente ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

E: Eficiencia de remoción de la DQO o DBO

- **Estimación de la producción del metano**

La estimación teórica de producción de metano se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$DQO_{\text{CH}_4} = Q_{\text{ip}} * [(S_0 - C_{\text{efl}}) - Y_{\text{obs}} * S_0] \quad (31)$$

$$K(t) = \frac{P * K_{\text{DQO}}}{[R * (273 + T)]} \quad (32)$$

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{DQO_{\text{CH}_4}}{K(t)} \quad (33)$$

**Donde:**

$Q_{\text{ip}}$ : Gasto afluente promedio ( $\text{m}^3/\text{día}$ )

$S_0$ : DQO afluente ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_{\text{efl}}$ : Concentración de DQO en el efluente final ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$Y_{\text{obs}}$ : Coeficiente de producción de sólidos en el sistema ( $\text{kg}/\text{kg}$ )

$DQO_{\text{CH}_4}$ : Carga de DQO convertida a metano ( $\text{kg}/\text{día}$ )

P: Presión atmosférica (atm)

$K_{\text{DQO}}$ : DQO correspondiente a un mol de  $\text{CH}_4$  ( $\text{g}/\text{mol}$ )

R: Constante del gas ( $\text{atm} * \text{L} / \text{mol} * \text{K}$ )

T: Temperatura de operación del reactor ( $^{\circ}\text{C}$ )

K(t): Factor de corrección dependiendo de la temperatura de operación del reactor ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

- **Estimación de la producción del biogás**

La estimación teórica de producción de biogás se calcula considerando un contenido de metano de 70% en el biogás, detallándose en la siguiente ecuación:

$$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0,70} \quad (34)$$

**Donde:**

$Q_{CH_4}$ : Estimación teórica de metano ( $m^3/día$ )

- **Longitud del colector de gas**

Para determinar la longitud del colector de gas se asume una altura de 1 metro y una pendiente de  $60^\circ$  utilizando la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{hc}{\text{Sen } \theta} \quad (35)$$

**Donde:**

hc: Altura del colector (m)

- **Número de colectores de gas**

El número de colectores de gas se determina mediante la siguiente ecuación:

$$N_c = \frac{L}{Z} \quad (36)$$

L: Longitud del reactor (m)

Z: Longitud del colector de gas (m)

- **Distancia entre el colector de gas y la pared del reactor**

Para este cálculo se asume una separación entre colectores de gas de 0,7 metros y se reemplaza en la siguiente ecuación:

$$x = \frac{[L - [(z * N_c) + (0,7 * 2)]]}{2} \quad (37)$$

**Donde:**

L: Largo del reactor (m)

Z: Longitud del colector de gas (m)

Nc: Número de colectores de gas

(2): Espacios entre colectores y espacio entre colector y la pared

- **Producción y volumen del lodo**

La producción de lodo que se espera en el sistema de tratamiento se calcula por medio de las siguientes ecuaciones:

$$P_S = Y * DQO_{app} \quad (38)$$

$$V_S = \frac{P_S}{y * C} \quad (39)$$

**Donde:**

Y: Coeficiente del rendimiento de sólidos (kg SST/kg DQO)

DQO<sub>app</sub> o Lo: Carga de DQO en el afluente promedio (kg/día)

y: Densidad del lodo (kg/m<sup>3</sup>)

C: Concentración esperada de la descarga del lodo (%)