

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO E INGENIERA AMBIENTALES**

**TEMA:**

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LA  
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, EN LA  
POBLACIÓN DE MULALÓ PARA SU DIMENSIONAMIENTO**

**AUTORES:**

**VÍCTOR ALEXANDER HERRERA QUITO  
ANDREA NATHALY QUISAGUANO TIPÁN**

**DOCENTE TUTOR:**

**EDUARDO ALBERTO MIGUEL ARAQUE ARELLANO**

**Quito, septiembre del 2020**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Víctor Alexander Herrera Quito con documento de identificación N° 1722272380 y Andrea Nathaly Quisaguano Tipán con documento de identificación N° 1722240916, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, EN LA POBLACIÓN DE MULALÓ PARA SU DIMENSIONAMIENTO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO E INGENIERA AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Víctor Alexander Herrera Quito  
1722272380



---

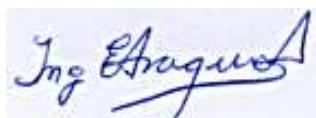
Andrea Nathaly Quisaguano Tipán  
1722240916

Quito, septiembre 2020

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, EN LA POBLACIÓN DE MULALÓ PARA SU DIMENSIONAMIENTO, realizado por Víctor Alexander Herrera Quito y Andrea Nathaly Quisaguano Tipán, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2020



---

Eduardo Alberto Miguel Araque Arellano  
1707253090

## **DEDICATORIA**

Este proyecto va dedicado a Dios que hizo que mi fe no decaiga y me dio el valor para seguir adelante luchando y valorando este lindo viaje que es la vida, a mi madre Flor, mi padre Hugo quienes nunca dudaron de mi a pesar de mis múltiples errores siempre me brindaron todo su amor y consejos los cuales permanecerán en mi mente por siempre, a mis hermanas Kathy, Pamela, Diana, Erika y María José ya que cada una con sus personalidades me sirvieron de apoyo en los momentos más difíciles a ustedes por ser el impulso para esforzarme cada día sin olvidar que todo lo que haga debe ser por alcanzar la felicidad, a Leandro y Ezequiel los dos panitas que llegaron a llenar de mucha alegría mi vida con todas sus ocurrencias, a cada uno de mis familiares que a lo largo de los años me han compartido sus vivencias y cariño, a mis amigos que con sus aportes a lo largo del tiempo de estudio ayudaron de una u otra forma con la culminación de este primer objetivo a cada uno de ustedes por aportar con su granito de arena, a mi compañera de tesis Andrea, que con su paciencia, inteligencia, actitud y determinación encaminó esta gran experiencia que tuvo altas y bajas pero al final lo logramos.

***Víctor***

El presente estudio se lo dedico a Dios, a mis padres Delia y Patricio quienes estuvieron siempre conmigo en los momentos buenos y malos, ellos que fueron el impulso que necesitaba para llegar a culminar una etapa más de vida. Se los agradezco infinitamente por nunca darme la espalda a pesar de los miles de defectos y errores que he cometido.

A mi hermano Jossue por su paciencia y su apoyo que siempre está dispuesto a dar.

A mi hija Génesis quien ha sido el motor más importante en mi vida, la cual me ha dado la fuerza para no rendirme en este camino tan difícil llamado vida, a ella que con sus travesuras complementa mí día a día.

A mis familiares y amigos que me acompañaron es este camino, gracias por su cariño y los buenos momentos que hemos compartido.

A mi compañero de tesis Víctor que sin su apoyo no hubiese sido posible la culminación de esta etapa, gracias por tu paciencia y esfuerzo para que las cosas fluyan.

*Andy*

## **AGRADECIMIENTO**

Un especial agradecimiento a Dios por ser la guía espiritual que hemos necesitado en todo este proceso y poder culminar con nuestros estudios.

Agradecemos a nuestro tutor el ingeniero Eduardo Alberto Miguel Araque Arellano por confiar en nosotros brindándonos la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, por estar pendiente hasta la culminación del mismo, por su paciencia y entrega que está dispuesto a dar siempre.

A la Universidad Politécnica Salesiana por permitirnos hacer uso de sus instalaciones para poder realizar los análisis pertinentes, además de los años que nos acogió y a cada uno de los docentes por compartir sus enseñanzas con el afán de formarnos como buenos profesionales.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado de Mulaló, quienes nos abrieron las puertas sin dudar ante la petición de la realización de nuestro trabajo de investigación y por el aporte de información.

***Víctor Herrera & Andrea Quisaguano***

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo General .....	2
2.2. Objetivos Específicos.....	2
3. MARCO TEÓRICO .....	3
3.1. Agua .....	3
3.2. Agua Residual .....	4
3.2.1. Constituyentes de las Aguas Residuales .....	4
3.2.2. Principales Contaminantes de las Aguas Residuales .....	6
3.2.3. Tipos de Agua Residual .....	7
3.2.4. Caracterización de las Aguas Residuales.....	8
3.3. Muestreo de Aguas Residuales .....	8
3.4. Clasificación de las Muestras .....	9
3.5. Normativa Ambiental.....	9
3.5.1. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente .....	9
3.5.2. Ordenanza Municipal de Latacunga .....	11
3.5.3. Constitución de la República del Ecuador .....	12
3.6. Tratamiento de Aguas Residuales .....	12
3.6.1. Tratamiento Primario .....	13
3.6.2. Tratamiento Secundario .....	13
3.6.3. Tratamiento Terciario .....	13

3.7.	Otros Sistemas de Depuración .....	14
3.7.1.	Lagunas de Oxidación.....	14
3.7.2.	Lagunas Anaerobias.....	14
3.7.3.	Lagunas Facultativas.....	14
3.7.4.	Lagunas Aerobias.....	15
3.7.5.	Tanque Séptico.....	16
3.8.	Planta de Tratamiento de Agua Residuales.....	16
3.9.	Línea Base .....	16
3.9.1.	Ubicación de la Zona del Proyecto .....	16
3.9.2.	Superficie del Área del Proyecto .....	17
3.9.3.	Relieve y Área de Influencia.....	17
3.9.4.	Datos de Temperatura.....	19
3.9.5.	Datos de Precipitación .....	19
3.9.6.	Hidrografía.....	20
3.9.7.	Demografía .....	21
3.9.9.	Infraestructura y Acceso a Servicios Básicos .....	23
3.9.10.	Actividades Económicas.....	24
3.9.11.	Problematización en la Parroquia Mulaló.....	25
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
4.1.	Muestreo.....	27
4.1.1.	Sitio del Muestreo .....	27



4.2.	Materiales .....	28
4.2.1.	Materiales Utilizados en la Etapa de Muestreo.....	28
4.2.2.	Materiales Utilizados en la Etapa de Laboratorio.....	28
4.2.	Equipos Utilizados en la Etapa de Laboratorio .....	29
4.3.	Metodología .....	29
4.3.1.	Metodología de Campo.....	30
4.3.2.	Metodología para el Análisis en Laboratorio.....	31
4.4.	Elementos de Diseño.....	34
4.4.1.	Periodo de Diseño .....	34
4.4.2.	Población Actual.....	34
4.4.3.	Población Futura .....	35
4.4.4.	Dotación.....	36
4.4.5.	Cálculo del Caudal de Diseño.....	37
4.4.6.	Datos Climatológicos.....	37
4.5.	Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....	39
4.5.1.	Diseño del Canal de Entrada.....	39
4.5.2.	Diseño de Rejillas .....	42
4.5.4.	Diseño del Floculador .....	48
4.5.5.	Diseño del Sedimentador .....	51
4.5.7.	Diseño de Laguna Anaerobia.....	54
4.5.8.	Diseño de Laguna Facultativa.....	60

4.5.9.	Diseño de la Primera Laguna de Maduración .....	66
4.5.10.	Diseño de la Segunda Laguna de Maduración.....	71
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	76
5.1.	Resultados .....	76
5.1.1.	Resultados para Análisis de Calidad de Agua .....	76
5.1.2.	Resultados del Análisis Químico y Microbiológico .....	77
5.1.3.	Resultados de la Prueba de Tratabilidad.....	79
5.2.	Resultados del Dimensionamiento .....	79
5.2.1.	Dimensionamiento Canal de Entrada.....	79
5.2.2.	Dimensionamiento Rejillas.....	80
5.2.3.	Dimensionamiento Desarenador.....	80
5.2.4.	Dimensionamiento Floculador.....	81
5.2.5.	Dimensionamiento Sedimentador.....	82
5.2.6.	Dimensionamiento Canal Parshall.....	82
5.2.7.	Dimensionamiento Laguna Anaerobia .....	82
5.2.8.	Dimensionamiento Laguna Facultativa .....	83
5.2.9.	Dimensionamiento de las Lagunas de Maduración .....	84
5.3.	Volumen de Lodos en el Sistema de Tratamiento.....	86
5.4.	Análisis Económico, Técnico y Social del Proyecto.....	86
5.4.1.	Análisis Económico.....	86
5.4.2.	Análisis Técnico .....	90

5.4.3	Análisis Social .....	92
5.5.	Discusión.....	93
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
6.1.	Conclusiones .....	95
6.2.	Recomendaciones.....	96
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	97
8.	ANEXOS .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	4
Tabla 2 Límites de descargar al sistema de alcantarillado.....	10
Tabla 3 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	11
Tabla 4 Características de diseño y desempeño de los sistemas de lagunaje .....	15
Tabla 5 Proyección Crecimiento Poblacional.....	21
Tabla 6 Barrio, comuna, sector de la parroquia Mulaló .....	22
Tabla 7 Problemática de contaminación en la parroquia de Mulaló.....	26
Tabla 8 Materiales utilizados para realizar el muestreo.....	28
Tabla 9 Materiales utilizados para el análisis en el laboratorio .....	29
Tabla 10 Equipos utilizados en el laboratorio.....	29
Tabla 11 Parámetros analizados para determinar la calidad del agua residual .....	30
Tabla 12 Barrios incluidos en la ejecución del proyecto .....	34
Tabla 13 Proyecciones poblacionales del sector.....	35
Tabla 14 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio .....	36
Tabla 15 Información de la estación Rumipamba-Salcedo .....	38
Tabla 16 Datos Climatológicos utilizados .....	38
Tabla 17 Datos para el cálculo del canal de entrada .....	40
Tabla 18 Datos para el cálculo de rejillas .....	42
Tabla 19 Tiempo de sedimentación .....	45
Tabla 20 Dimensiones establecidas para el diseño del canal Parshall.....	53
Tabla 21 Datos para el diseño de la laguna anaerobia .....	54
Tabla 22 Datos para el diseño de la laguna facultativa.....	60
Tabla 23 Datos para el diseño de la primera laguna de maduración .....	66
Tabla 24 Datos para el diseño de la segunda laguna de maduración.....	71

Tabla 25 Resultados del análisis de calidad de agua in situ .....	76
Tabla 26 Resultados del análisis de sólidos en el agua.....	77
Tabla 27 Resultados del análisis microbiológico de agua residual para coliformes.....	77
Tabla 28 Resultados del análisis químico de agua residual.....	78
Tabla 29 Resultados de la prueba de jarras.....	79
Tabla 30 Dimensiones del canal de entrada.....	80
Tabla 31 Dimensiones de las rejillas .....	80
Tabla 32 Dimensiones del desarenador .....	81
Tabla 33 Dimensiones del floculador .....	81
Tabla 34 Dimensiones del sedimentador .....	82
Tabla 35 Dimensiones de la laguna anaerobia.....	83
Tabla 36 Dimensiones de la laguna facultativa .....	83
Tabla 37 Dimensiones de la primera laguna de maduración .....	84
Tabla 38 Dimensiones de la segunda laguna de maduración .....	85
Tabla 39 Volumen de lodos en el Sistema de Tratamiento .....	86
Tabla 40 Presupuesto de la Planta de Tratamiento .....	88
Tabla 41 Costo de tratamiento .....	89
Tabla 42 Resultados técnicos del sistema de lagunaje.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Ubicación de la Parroquia Mulaló .....	17
Figura 2 Mapa Geológico de la Parroquia Mulaló.....	19
Figura 3 Mapa Hidrográfico de la Parroquia Mulaló.....	21
Figura 4 Porcentaje de eliminación de excretas.....	24
Figura 5 Mapa de Plan de uso y Ocupación de Suelo.....	25
Figura 6 Mapa de Ubicación del Punto de Muestreo.....	27
Figura 7 Proyección poblacional de la zona del proyecto .....	36
Figura 8 Tiempo vs partículas sedimentadas .....	46
Figura 9 Partes que conforman el Canal Parshall .....	53
Figura 10 Ubicación del lugar de implantación del proyecto .....	91

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Socialización con los representantes del GAD de Mulaló .....	100
Anexo 2. Respaldo de asistencia a la socialización .....	100
Anexo 3. Cierre de la socialización .....	101
Anexo 4. Punto de muestreo .....	101
Anexo 5. Toma de la muestra de agua residual .....	102
Anexo 6. Medición de los parámetros in situ .....	102
Anexo 7. Análisis de sólidos sedimentables .....	103
Anexo 8. Prueba de tratabilidad.....	103
Anexo 9 .Determinación de la dosis de coagulante .....	104
Anexo 10. Presentación de la estructura de la PTAR a los directivos del GAD .....	104
Anexo 11. Socialización virtual con los representantes del GAD de Mulaló.....	105
Anexo 12. Presentación de los planos finalizados de la PTAR .....	105
Anexo 13. Informe de resultado de microbiología de agua residual .....	106
Anexo 14. Informe de resultados de análisis químico de agua residual .....	107
Anexo 15. Plano de las unidades del pre-tratamiento de la PTAR.....	108
Anexo 16. Plano completo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	109
Anexo 17. Detalles de la oficina administrativa y bodega.....	110

## RESUMEN

La contaminación es un problema que se ha venido incrementando con el pasar de los años, siendo este un tema de gran importancia en la actualidad. Los recursos naturales se ven afectados en gran magnitud, razón por la cual se han creado proyectos que contribuyen en la gestión ambiental en colaboración con entidades públicas y privadas.

El presente proyecto tiene como finalidad presentar una alternativa a la purificación de las aguas residuales domesticas en la provincia de Cotopaxi, parroquia Mulaló, específicamente en el área consolidada, la cual está formada por 5 barrios y una lotización, con la construcción de una planta que cumpla con los límites permisibles de descarga a una fuente de agua dulce en base a la normativa ambiental vigente.

El dimensionamiento de la planta se desarrolló con datos analizados en el presente trabajo, además con la ayuda de ciertos parámetros teóricos como sustento bibliográfico, el cual se encuentra conformado por un sistema de rejillas, un desarenador, laguna anaerobia, laguna facultativa y dos lagunas de maduración.

Como parte final se obtuvo los planos del diseño para su construcción y con el mismo se realizó un análisis económico, técnico y social.

***Palabras claves:*** depuración, gestión ambiental, aguas residuales, límites permisibles, normativa ambiental.



## ABSTRACT

Pollution is a problem that has been increasing over the years, and this is a very important issue today. Natural resources are being affected to a great extent, which is why projects that contribute to environmental management have been created in collaboration with public and private entities.

The purpose of this project is to present an alternative to the treatment of domestic wastewater in the province of Cotopaxi, Mulaló parish, specifically in the consolidated area, which is made up of 5 neighborhoods and a subdivision, with the construction of a wastewater treatment that complies with the permissible discharge limits to a fresh water source based on current environmental regulations.

The sizing of the plant was developed with data analyzed, also with certain theoretical parameters as bibliographic support, which is made up of a system of grids, a desander, anaerobic lagoon, facultative lagoon, and two maturation lagoons.

Finally, the design plans for this construction were obtained and an economic, technical, and social analysis was carried out.

**Keywords:** purification, environmental management, wastewater, permissible limits, environmental regulation.

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS**

**CEPIS:** Evaluación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**GAD:** Gobierno Autónomo descentralizado

**INAMHI:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

**INEC:** Instituto Nacional de Estadística y Censo

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

**OD:** Oxígeno Disuelto

**PEA:** Población Económicamente Activa

**pH:** Potencial Hidrogeno

**PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

**SF:** Sólidos Fijos

**SNI:** Sistema Nacional de Información

**Ssed:** Sólidos Sedimentables

**ST:** Sólidos Totales

**SV:** Sólidos Volátiles

**TULSMA:** Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

**CAMICON:** Cámara de la Industria de la Construcción

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación en el medio ambiente se ha venido incrementando a nivel mundial, a lo largo del tiempo, razón por la cual se deben tomar acciones para prevenir los impactos generados y evitar que el daño llegue a ser irreparable.

Antiguamente en varias ciudades de nuestro país se realizaba un vertido directo a los ríos, provocando problemas sanitarios, siendo necesaria la construcción de instalaciones para depuración (Castro, 2007).

A medida que incrementa la población, la necesidad de construir sistemas de depuración ha ido aumentando, con la finalidad de evitar que las aguas servidas sean descargadas sin tratamiento alguno. Como una medida alternativa a este problema se implementó fosas sépticas para el tratamiento de aguas servidas domésticas.

La planta de tratamiento de agua residual permite la descontaminación eminente de ríos y brinda salubridad a las comunidades, evitando que los ecosistemas se vean comprometidos.

La percepción de saneamiento varía de cultura en cultura, las mejoras en la salud no son las únicas razones por las que las comunidades aceptan este tipo de proyectos. La gestión de agua residual debe ser considerada como tema de gran importancia siendo equitativo para todos. Según estudios se ha determinado que las barreras para cobertura de saneamiento incluyen la inversión inadecuada, las políticas pobres e inexistentes, pocos recursos y disponibilidad del agua.

Los proyectos ambientales orientados a la gestión de aguas residuales deben ser coordinados con autoridades competentes, para mejorar la calidad de vida de la población y ecosistemas, permitiendo lograr un desarrollo social, económico y ambiental del país.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo General**

- Realizar el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de Mulaló. Provincia de Cotopaxi

### **2.2.Objetivos Específicos**

- Determinar la calidad de agua mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos.
- Dimensionar las unidades de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar el estudio de sostenibilidad económico, técnico y social.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Agua

El agua es un compuesto de vital importancia para la supervivencia de las personas constituido por una molécula de oxígeno y dos de hidrogeno, esta se encuentra en más del 70 % del área de la Tierra, siendo el agua dulce menor al 3 % del total de agua existente, según Bravo (2006) “se considera que las propiedades físicas y químicas del agua son responsables de que la Tierra sea tal como se conoce y que la vida misma es consecuencia de las propiedades tan especiales de la molécula de agua” (pp.179-180).

Se puede afirmar que el agua:

Contribuye a mantener el clima, disuelve a una gran cantidad de sustancias, que pueden llegar a ser contaminantes, y es esencial para las formas de vida y que es un recurso renovable porque se recicla y se renueva continuamente mediante el ciclo hidrológico, los humanos poco nos preocupamos por hacerla disponible y aprovechable con tratamientos para eliminarle los contaminantes que le arrojamos, por el contrario, al ser un elemento abundante, no nos preocupamos por el desperdicio y contaminación de este vital recurso renovable. (Bravo, 2006, p. 180)

La peculiaridad y los distintos usos que se da a este recurso, nos inclinan a un uso constante e inadecuado en el que no se realiza un analisis concreto a los tratamientos de descontaminación que mejoren el aprovechamiento (Bunces, 2014).

Bravo (2006) indica que el agua “es un recurso natural indispensable para los ecosistemas y forma parte de toda la materia viva, y el hombre la utiliza para realizar muchas de sus actividades como la agricultura, la industria, el transporte y otras actividades diarias” (p. 182).

### 3.2. Agua Residual

Las aguas residuales se definen como “aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos” (Espigares y Pérez, 1985, p. 76).

#### 3.2.1. Constituyentes de las Aguas Residuales

La caracterización de las aguas residuales mediante su composición biológica y físico-química, mediante lo cual se muestra las principales propiedades de los parámetros antes descritos y su procedencia además muchos de estos están relacionados entre sí, como es el caso de la temperatura que afecta tanto a la parte biológica como a la parte química.

**Tabla 1**

*Características físicas, químicas y biológicas del agua residual*

<b>Propiedades Físicas</b>	
<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
<b>Propiedades Químicas</b>	
<b>Orgánicos</b>	
<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Grasas animales y aceites	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.

<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
Fenoles	Vertidos industriales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Otros	Degradación natural de materia orgánica.

### **Inorgánicos**

<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Metales pesados	Vertidos industriales.
Nitrógeno	Residuos agrícolas.
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales, comerciales y aguas de escorrentía.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Azufre	Agua de suministro, aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.

### **Gases**

<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos.
Metano	Descomposición de residuos domésticos.
Oxígeno	Agua de suministro e infiltración de agua superficial

<b>Propiedades Biológicas</b>	
<b>Características</b>	<b>Procedencia</b>
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial y plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial y plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas

*Nota:* Esta tabla muestra las características del agua residual con su respectiva procedencia. Tomado de Espigares y Pérez (1985, p.175).

### **3.2.2. Principales Contaminantes de las Aguas Residuales**

Entre los principales contaminantes se encuentran:

- a) **Sólidos en suspensión.** “cuando los sólidos en suspensión de un agua residual se vierten en lechos de ríos, lagos, etc., conducen al desarrollo de depósitos de fangos y aumentan las condiciones anaerobias de las zonas de vertido” (Fonfria y Ribas, 1989, p. 93).
- b) **Materia orgánica biodegradable.** “la materia orgánica biodegradable se mide en términos de DBO y de DQO en el entorno acuático puede causar falta de recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas” (Fonfria y Ribas, 1989, p. 93).
- c) **Materia orgánica refractaria.** “Este tipo de materia orgánica puede interferir en los métodos convencionales de tratamiento, por otra parte, el vertido de aguas que la contengan con elevada concentración puede contaminar las aguas naturales de productos tóxicos o, según algunos estudios, incluso cancerígenos” (Fonfria y Ribas, 1989, p. 94).
- d) **Nutrientes.** “Los principales nutrientes acuáticos son el nitrógeno, fosforo y carbono. Un agua residual que los contenga, y se vierta sin tratar, puede producir el crecimiento de una



vida acuática no deseada, así como la contaminación de aguas superficiales y subterráneas” (Fonfria y Ribas, 1989, p. 94).

e) **Metales pesados.** – Espigares y Pérez (1985) afirman que:

Los metales pesados provienen generalmente de aguas residuales comerciales e industriales. Aunque algunos de estos metales son necesarios para el desarrollo de la vida biológica, las concentraciones elevadas de estos pueden interferir en los procesos de depuración y, por supuesto, que su vertido al medio acuático podría poner en peligro el aprovechamiento de las aguas naturales dada su alta toxicidad.

Los compuestos tóxicos tienen la misma problemática que los metales pesados, y algunos de ellos, tales como la plata, cobre, boro, cianuros, cromatos, Cromo, Plomo y arsénico, son tóxicos en alguna medida para los microorganismos y, por lo tanto, pueden interferir en los procesos de depuración biológica. Su vertido al entorno se puede considerar de la misma naturaleza que los metales pesados. (pp. 93-94)

Los contaminantes que vamos a encontrar en las aguas residuales son de gran interés ya que con estos se verá el tratamiento a realizar para su correcta descontaminación y su posterior uso en donde se reduzca el grado de afectación

### **3.2.3. Tipos de Agua Residual**

Dentro de los tipos se incluyen aguas con diversos orígenes:

a) **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** “proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas” (Espigares y Pérez, 1985, p. 68).

b) **Aguas blancas:** “pueden ser de procedencia atmosférica o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son

muy abundantes, éstas pueden evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración” (Espigares y Pérez, 1985, p. 68).

- c) **Aguas residuales industriales:** “proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas entre otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales” (Espigares y Pérez, 1985, p. 68).
- d) **Aguas residuales agrícolas:** “procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo” (Espigares y Pérez, 1985, p. 68).

#### **3.2.4. Caracterización de las Aguas Residuales**

Las aguas residuales provenientes de uso doméstico e industrial necesitan de un tratamiento antes de ser descargas al sistema de alcantarillado, las características de estas aguas son variables debido a la concentración de sólidos, materia disuelta y coloidal que la conforman.

### **3.3.Muestreo de Aguas Residuales**

El propósito del muestreo según Valdez y Vásquez (2003) es:

Colectar una porción de aguas residuales lo suficientemente pequeña en volumen para ser manejada convenientemente en el laboratorio y que, no obstante, esto, sea representativa del agua residual que se va a examinar. Debe recogerse en tal forma que no se agregue ni se pierda nada en la porción tomada y que no se produzca ningún cambio durante el tiempo que transcurra desde la recolección hasta su análisis en el laboratorio. Si no se satisfacen estas condiciones, los resultados obtenidos en el laboratorio serán engañosos y de peores consecuencias que la falta de ellos. (p.150)

### 3.4. Clasificación de las Muestras

La actividad de muestreo necesita de definir el tipo de muestra que se va a usar la cual puede ser de forma simple o compuesta.

- a) **Muestras simples:** “consiste en coleccionar todo el volumen a examinar en un mismo tiempo, por lo que representa las características de las aguas residuales solamente para la hora en la que se toma” (Valdez y Vásquez, 2003, p. 73 ).
- b) **Muestras compuestas:** “colección de aguas residuales en forma continua durante un intervalo de tiempo dado, o la composición de varias muestras instantáneas tomadas cada cierto tiempo. Esta muestra representa el promedio de características a medir durante el tiempo que dure su colección” (Valdez y Vásquez, 2003, p. 73).

### 3.5. Normativa Ambiental

#### 3.5.1. *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente*

Considerando los límites máximos permisibles de descarga por efluentes domésticos basado en el Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma Libro VI Del TULSMA, en su Libro VI, Anexo 1 Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua se puede considerar lo siguiente:

**Tabla 2***Límites de descargar al sistema de alcantarillado*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
<b>Sólidos sedimentables</b>	ml/l	20
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	mg/l	220
<b>Sólidos totales</b>	mg/l	1600
<b>Temperatura</b>	° C	<40
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)</b>	mg/l	250
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	mg/l	500
<b>Fósforo Total</b>	mg/l	15
<b>Sulfatos</b>	mg/l	400
<b>Cloro Activo</b>	mg/l	0,5
<b>Nitrógeno Total Kjedahl</b>	mg/l	60
<b>Aceites y grasas</b>	mg/l	70
<b>Potencial de Hidrógeno</b>		6-9

*Nota:* Esta tabla contiene los valores permitidos de los distintos parámetros de calidad del agua residual para ser descargados en un sistema de alcantarillado. Tomado del Ministerio del Ambiente (2015, p.20).

**Tabla 3***Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
<b>Sólidos</b>		
<b>suspendidos</b>	mg/l	130
<b>totales</b>		
<b>Sólidos totales</b>	mg/l	1600
<b>Temperatura</b>	° C	Condición natural ±3
<b>Demanda</b>		
<b>Bioquímica de Oxígeno (5 días)</b>	mg/l	100
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	mg/l	200
<b>Fósforo Total</b>	mg/l	10
<b>Sulfatos</b>	mg/l	1000
<b>Cloro Activo</b>	mg/l	0,5
<b>Nitrógeno Total Kjedahl</b>	mg/l	50
<b>Aceites y grasas</b>	mg/l	30
<b>Potencial de Hidrógeno</b>		6-9
<b>Coliformes Fecales</b>	NMP/100mL	2000

*Nota:* Esta tabla contiene los valores permitidos de los distintos parámetros de calidad del agua residual para ser descargados a un cuerpo de agua dulce. Tomado del Ministerio del Ambiente (2015, p.20).

### **3.5.2. Ordenanza Municipal de Latacunga**

Según la la Ordenza 54. Art 5.- Niveles máximos permisibles de la Municipalidad de Latacunga (2004)se menciona que:

Al tenor del artículo precedente, los desechos líquidos y emisiones a la atmósfera, generados por los sujetos de control, deberán someterse a los niveles máximos permisibles establecidos por esta ordenanza y sus instructivos de aplicación y, supletoriamente, a los previstos por la Ley y reglamentos nacionales sobre la materia. En ningún caso, los niveles establecidos por la ordenanza y sus instructivos, serán menos estrictos que los establecidos en los últimos cuerpos legales nombrados. (p. 5)

Las emisiones y desechos producidos dentro de la parroquia se encuentran sujetos bajo control a los límites máximos permisibles establecidos.

### **3.5.3. Constitución de la República del Ecuador**

Según la Constitución del Ecuador (2008) se consideró los siguientes artículos:

**Art. 264**, numeral 4 contempla que, al prestar servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

**Art. 318.** El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

### **3.6. Tratamiento de Aguas Residuales**

Según Campos (2003) el tratamiento de aguas residuales se divide en tres, y esto dependerá del grado de eliminación de contaminantes que se tenga.

### **3.6.1. Tratamiento Primario**

Se encarga de remover el material sólido del agua residual, por medio de rejillas. Los sólidos inorgánicos son removidos en desarenadores, además de eliminar sólidos orgánicos suspendidos mediante un proceso de sedimentación. Los desarenadores permiten reducir la velocidad del agua, permitiendo la sedimentación de arenas u otros sólidos inorgánicos. Este tipo de tratamiento remueve gran cantidad sólidos suspendidos del agua residual tratada (Campos, 2003).

El tratamiento primario consta de en dos principios de separación una mecánica que consta de rejillas y una hidráulica con un sedimentador, también llamado clarificador primario. Este tratamiento es de bajo costo, pero su eficiencia es baja debido a que remueven los sólidos suspendidos, pero no los sólidos disueltos (Campos, 2003).

### **3.6.2. Tratamiento Secundario**

Consiste en la transformación biológica de los sólidos disueltos y los orgánicos coloidales, la cual será removida por medio de sedimentación. Esta conversión es realizada por microorganismos que se encargan de degradar los sólidos disueltos o los orgánicos coloidales mediante biooxidación (Campos, 2003).

En el tratamiento secundario además se utiliza otro mecanismo de limpieza conocido como lagunas de oxidación, siendo este un sistema natural de autopurificación (Campos, 2003).

### **3.6.3. Tratamiento Terciario**

Según Campos (2003) “El tratamiento secundario en combinación con el tratamiento primario es suficiente para alcanzar los estándares de calidad en el efluente para las aguas residuales municipales” (p. 112).

El tratamiento terciario es utilizado para la eliminación de ciertos contaminantes con la aplicación de ciertos productos químicos.

Este tratamiento busca reducir la cantidad de patógenos presentes en el agua residual antes de ser conducidos a un efluente natural de agua, completando de esta manera la remoción de la materia contaminante (Castro, 2007).

### **3.7.Otros Sistemas de Depuración**

#### **3.7.1. *Lagunas de Oxidación***

Los sistemas lagunares se basan en la remoción de materia orgánica, nitrógeno y fosforo de las aguas residuales, además de la eliminación de microorganismos patógenos, son estanques que embalsaman agua residual por un largo periodo de retención, en el cual se realiza actividad bacteriana Córtes et al. (2017).

Se clasifican en tres tipos: anaerobias, facultativas de maduración y aerobias:

#### **3.7.2. *Lagunas Anaerobias***

Son utilizadas para aguas residuales con concentraciones de materia orgánica altas, la remoción de la concentración se realiza bajo digestión anaerobia. Para este tipo de estanques se necesitan pequeñas áreas, no existe un proceso fotosintético, por lo tanto, no se presenta oxígeno disuelto. Presentan malos olores por lo que requieren ser aisladas Córtes et al. (2017).

Las lagunas anaerobias presentan una combinación entre la sedimentación y acumulación de sólidos en el fondo, llevando a cabo la degradación en ausencia de oxígeno (González, 2016).

#### **3.7.3. *Lagunas Facultativas***

Este tipo de laguna es una combinación de zonas con presencia de oxígeno con la presencia de bacterias aerobias en la parte superficial y zonas sin oxígeno con presencia de bacterias anaerobias en la parte inferior, donde se acumula una capa de sedimentos. Se sugiere una profundidad de 1,5 a 2,5 metros. El oxígeno producido se debe a la fotosíntesis y la aireación natural superficial Córtes et al. (2017).



En las lagunas facultativas se puede diferenciar claramente tres zonas. Una zona superficial con presencia de bacterias, una zona de carácter anaerobio al fondo donde se acumulan los sólidos y una zona intermedia donde se realiza la descomposición de la materia orgánica (Crites y Tchobanoglous, 2000).

### 3.7.4. Lagunas Aerobias

Este tipo de lagunas no son tan profundas, varían de 1 a 1,5 metros, permitiendo el paso de la luz solar para desarrollar la actividad fotosintética. Al igual que el tiempo de retención es corta de 5 a 10 días. Se pueden utilizar en combinación con otras lagunas, pero su aplicación se limita en climas cálidos y soleados Córtes et al. (2017).

**Tabla 4**

*Características de diseño y desempeño de los sistemas de lagunaje*

Características	Clase de laguna		
	Aerobia	Facultativa	Aireada con mezcla parcial
<b>Objetivo de tratamiento</b>	Secundario	Secundario, preliminar a un sistema de disposición sobre el suelo	Secundario, pulimiento preliminar a un sistema de disposición sobre el suelo o tratamiento
<b>Clima necesario</b>	Cálido	No requiere	No requiere
<b>Tiempo de retención (días)</b>	5-10	25-180	3-20
<b>Profundidad (metros)</b>	1-1,5	1,5-2,5	2-6
<b>Características del afluente (mg/L)</b>			
<b>DBO</b>	20-40	30-40	20-40
<b>DQO</b>	80-140	40-100	30-60

*Nota:* Esta tabla muestra las características de cada una de las lagunas con sus distintos requerimientos de diseño.

Tomado de Crites y Tchobanoglous (2000, p. 195).

### **3.7.5. Tanque Séptico**

Según CEPIS/OPS (2005) “es un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de una vivienda o conjunto de viviendas que combina la separación y digestión de lodos” (p. 2).

El tanque séptico es utilizado como una alternativa para el tratamiento en el cual se realiza la transformación de la materia orgánica mediante un proceso de separación (Yáñez, 1993).

### **3.8. Planta de Tratamiento de Agua Residuales**

Es la estructura que contiene una serie de procesos la cual elimina contaminantes presentes en el agua, ya sean de origen industrial o doméstico con el fin de que estos no representen un peligro para el medio ambiente y la salud. El funcionamiento en cada etapa es primordial para que el resultado final cumpla con la normativa ambiental requerida. Según Córtes et al. (2017) “El nivel de descontaminación del agua depende de la calidad en los métodos que se realicen en la planta. No olvidando que el objetivo principal del procedimiento es suministrar agua depurada a los afluentes naturales” (p. 155).

### **3.9. Línea Base**

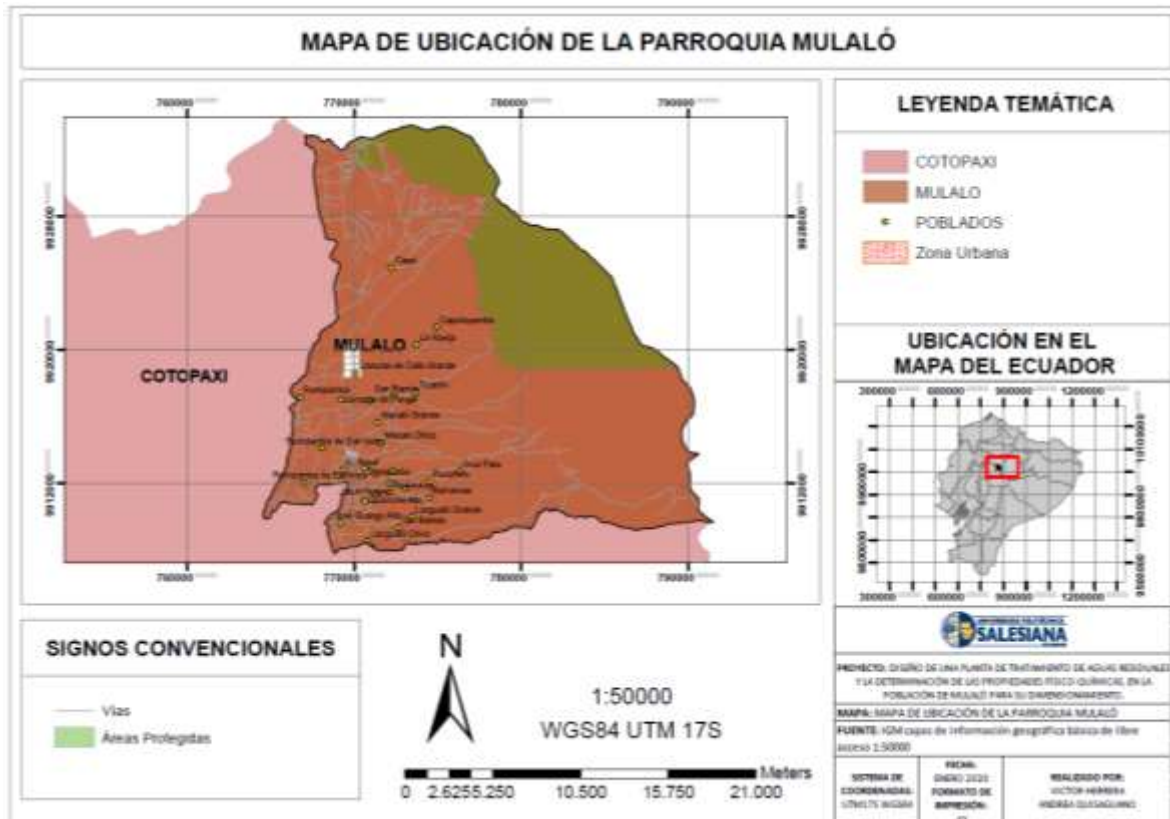
#### **3.9.1. Ubicación de la Zona del Proyecto**

La Parroquia Mulaló se encuentra en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga en las faldas del volcán Cotopaxi a 19 Km de Latacunga. “Se encuentra limitado, al norte con el cantón Mejía al sur con las Parroquias Joséguango Bajo y Aláquez, al este con la Provincia del Napo, al oeste con las provincias de Pastocalle, Tanicuchí y Guaytacama” (GAD Parroquia Rural de Mulaló, 2014, p. 11). Comprende un territorio de 438,49  $km^2$ , con un rango altitudinal de 3.000 *msnm*.

Posee vías de primer orden lo cual permite que toda su producción agrícola, ganadera y de flores pueda ser comercializada con otras provincias ubicadas en el callejón interandino.

**Figura 1**

*Mapa de Ubicación de la Parroquia Mulaló*



*Nota:* Esta figura muestra la ubicación del área de estudio. Fuente de investigación: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020).

### 3.9.2. Superficie del Área del Proyecto

Según la Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020) afirma que: “La parroquia Mulaló tiene una extensión aproximada de 509,42 km<sup>2</sup> y una densidad poblacional de 20,5 habitantes por hectárea” (p. 14). Es necesario considerar que gran parte de la población se ubica en el área rural.

### 3.9.3. Relieve y Área de Influencia

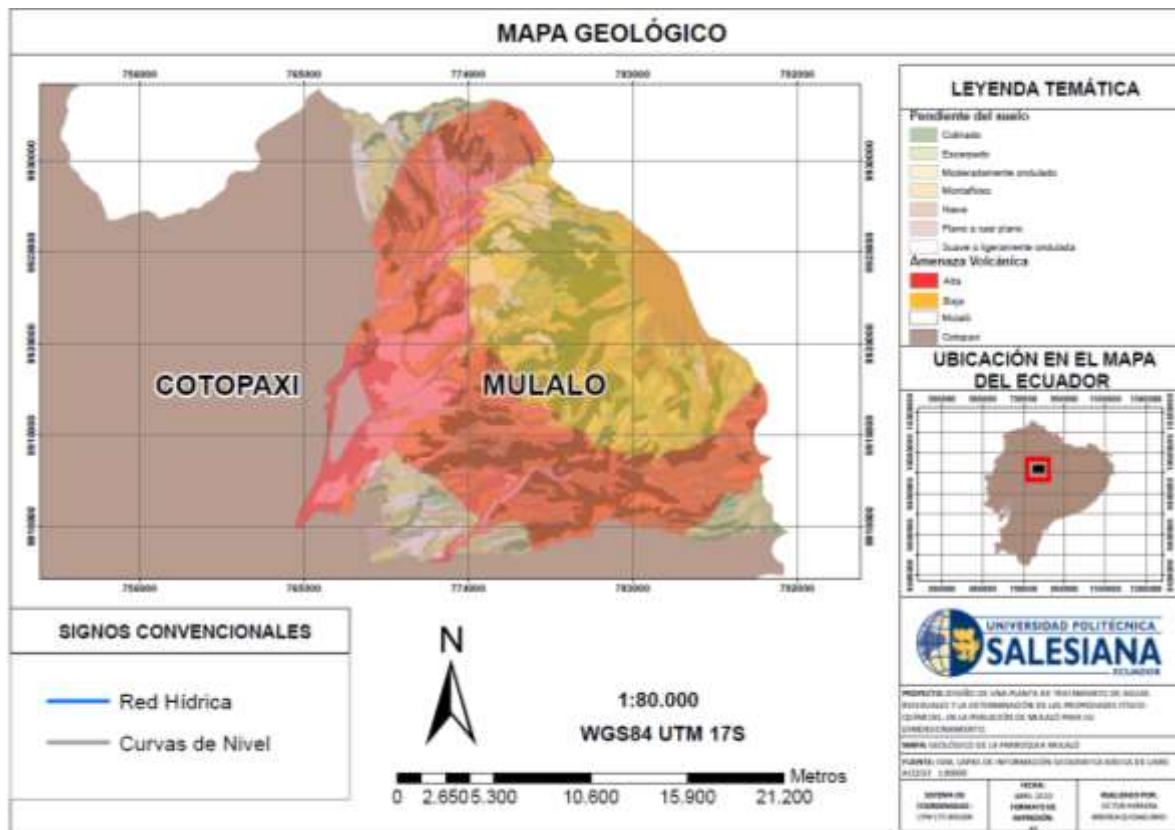
Según el Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló (2014):

Se localiza a lo largo de la cresta de la cordillera Oriental que va desde el macizo colombiano hasta la depresión de Huancabamba al norte del Perú en donde se ha desarrollado un sistema de valles que generalmente corren norte - sur y se describen como valles ínter - montañosos cuyos relieves se caracterizan por ser montañosos, escarpados, relieves colinados, laderas, terrazas, valles y llanuras, asentada en la hoya de Latacunga – Ambato, su principal elevación es el volcán Cotopaxi con 5.897 m de altura, al norte se observa el nudo de Tiopullo a 4.000msnm, y al este la cordillera Central. A lo largo de la extensión parroquia se observa un paisaje accidentado típico de páramo. Estas regiones se caracterizan por numerosos ambientes micro climático. (p. 30)

Su principal elevación es el volcán Cotopaxi, por lo cual la parroquia encuentra en un área con una actividad volcánica alta, ocasionando episodios geológicos y erosivos (GAD Parroquia Rural de Mulaló, 2014).

**Figura 2**

*Mapa Geológico de la Parroquia Mulaló*



*Nota:* Esta figura muestra la pendiente del suelo y su principal elevación. Fuente de investigación: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020).

### **3.9.4. Datos de Temperatura**

Presenta temperaturas comprendidas entre los 12 y 20 °C, además la temperatura puede descender hasta los 0 °C y las temperaturas máximas no superan los 30 °C. La humedad relativa varía entre los 65 y 85 %. La parroquia se localiza en zona de paramos, zona montañosa o altas por la presencia del Volcán Cotopaxi (Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló, 2014).

### **3.9.5. Datos de Precipitación**

El Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló (2014) menciona que: “los rangos de precipitaciones varían de 1000 – 1500 mm en la zona de paramo, mientras que en la zona que existen asentamientos en la parroquia se presenta

precipitaciones más bajas” (p. 17). Al poseer estos valores de precipitación en la zona del estudio nos indica claramente que es una zona muy propicia para las labores agrícolas y en la zona del proyecto esta actividad socio económico es la más importante.

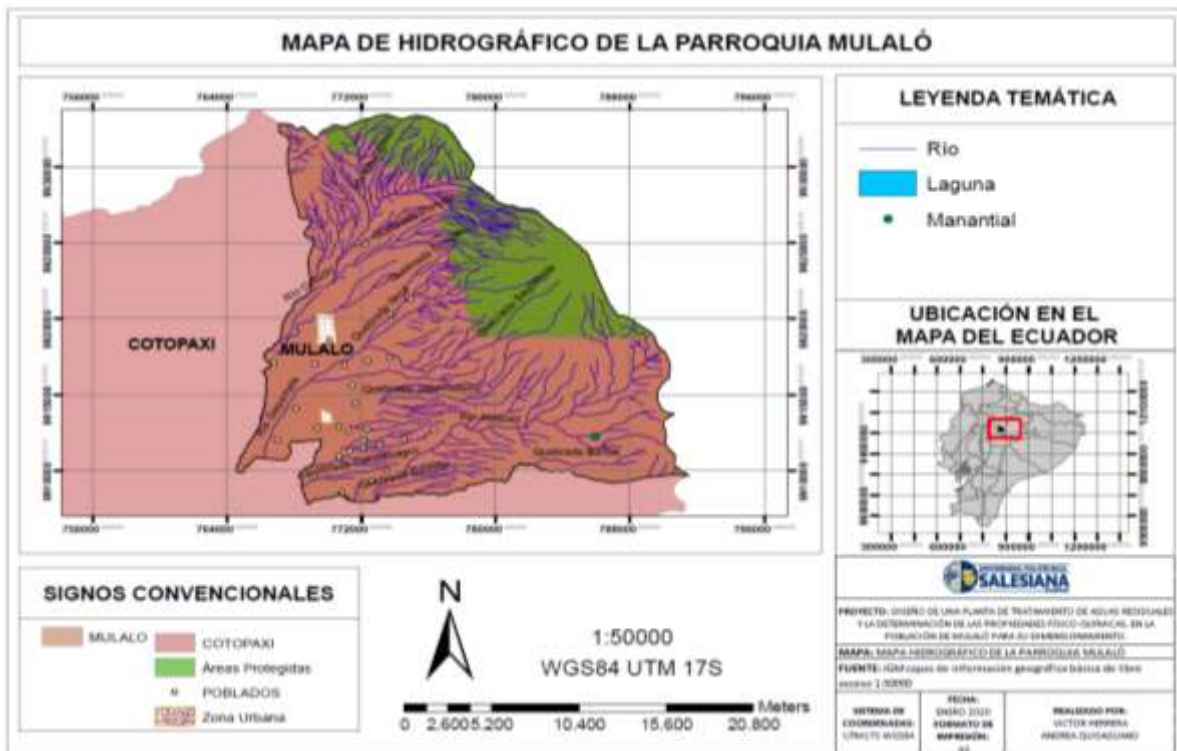
### **3.9.6. Hidrografía**

La provincia de Cotopaxi y especialmente la zona del proyecto la Parroquia Mulaló se destaca por estar situada en una cuenca hidrográfica que posee una densidad de cauces naturales muy importantes (GAD Parroquia Rural de Mulaló, 2014).

La subcuenca del Río Patate está compuesta por las microcuencas: Río Barrancas, Río Cutuchi, Río Jambelí, Río la Delicia, Río Saquilama, Río Tolugchi, Quebrada Burro Haycu y Drenajes menores. Las microcuencas de Cutuchi, Saquilama y Barrancas van recolectando los yacimientos y remanentes de vertientes y deshielos del volcán Cotopaxi. (GAD Parroquia Rural de Mulaló, 2014, p. 18)

**Figura 3**

*Mapa Hidrográfico de la Parroquia Mulaló*



*Nota:* Esta figura muestra los ríos, lagunas y manantiales existentes en el sector. Fuente de investigación: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020).

### 3.9.7. Demografía

Según el Sistema Nacional de Información (2010), la parroquia de Mulaló cuenta con 8397 habitantes y de acuerdo a las proyecciones realizadas por la Secretaría de Planificación y Desarrollo con la población oficial registrada en (2015), en el año 2020 es de 10217 habitantes.

**Tabla 5**

*Proyección Crecimiento Poblacional*

AÑO	2010	2001	1990
<b>Población Mulaló</b>	8.095	7.360	6.196

*Nota:* La tabla contiene el número de habitantes según los últimos censos realizados. Tomado de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020, p. 19)

### 3.9.8. División Político-Administrativa

La parroquia consta de 22 barrios, 6 comunidades, 4 sectores y una lotización.

**Tabla 6**

*Barrio, comuna, sector de la parroquia Mulaló*

<b>Denominación</b>	<b>Nombre De Barrio/Comuna/Sector</b>
Barrio	Chinchil De Robayos
Barrio	Chinchil De Villamarin
Barrio	Churopinto Santa Catalina
Barrio	Colcas
Barrio	El Caspi
Barrio	El Rosal
Barrio	La Libertad
Barrio	Macaló Chico
Barrio	Macaló grande
Barrio	Callo Mancheno
Barrio	Mulaló centro
Barrio	Quisinche alto
Barrio	Rumipamba de Espinosas
Barrio	San Isidro
Barrio	Rumipamba de Villacis
Barrio	Salatilín
Barrio	San Antonio de Limache
Barrio	San Francisco de Espinozas
Barrio	San miguel de cuchuco
Barrio	Ticatilín
Barrio	Tropumcho
Sector	La Dolorosa Barrancas
Sector	Callo Boyero
Lotización	Lotización Padre Guillermo Rivera.
Sector	Bellavista
Sector	Ilitío



<b>Denominación</b>	<b>Nombre De Barrio/Comuna/Sector</b>
Sector	Rancho Saquimala
Comuna	Ashigua
Comuna	Joseguango alto
Comuna	San Agustín de Callo
Comuna	San Bartolo Tanitán
Comuna	San Ramón
Comuna	Langualó grande

*Nota:* Esta tabla muestra cómo se encuentra distribuida la población de Mulaló. Tomado de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020, p. 40)

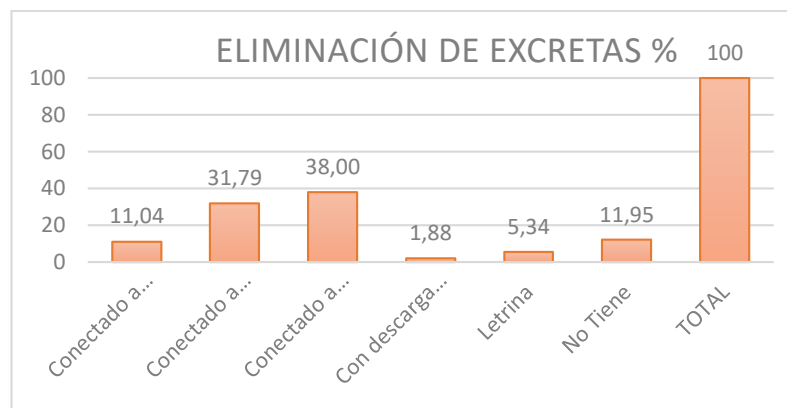
### **3.9.9. Infraestructura y Acceso a Servicios Básicos**

Las características de las viviendas en la Parroquia Mulaló y en la zona de influencia presentan una cobertura del sistema eléctrico que alcanza el 91% aproximadamente; tienen el servicio de la red de alcantarillado público un 35 %; de agua potable un 60 % de las viviendas; el servicio de telefonía fija el 26 % de cobertura (Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló, 2014).

En cuanto al sistema de alcantarillado el 38,80 % de las viviendas cuentan con un pozo ciego, el 31,79 % con un pozo séptico, el 11,95 % no tienen ningún sistema de evacuación, un 5,34 % letrinas, un 11,04 % cuentan con un sistema de alcantarillado, este tipo de sistema solamente lo disponen las casas ubicadas en la cabecera parroquial, mientras que un 1,88 % son depositadas a ríos y quebradas (Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló, 2014).

**Figura 4**

*Porcentaje de eliminación de excretas*



*Nota:* Esta figura muestra el porcentaje de eliminación de excretas según el sistema utilizado. Tomado de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020, p. 21)

### **3.9.10. Actividades Económicas**

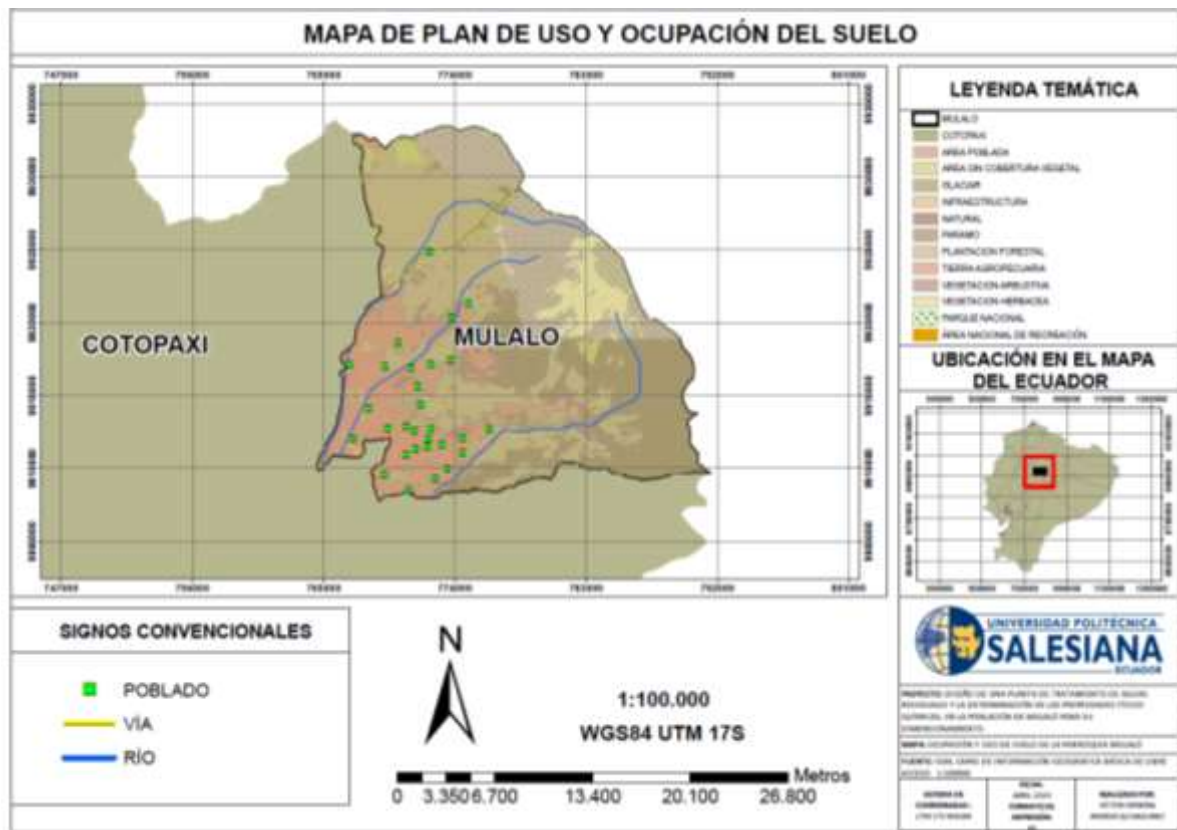
Se cuenta con actividades económicas principales relacionadas a la ganadería, agricultura y madera.

La PEA se concentra en labores de Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con una participación de 59,61 %, seguida por las industrias manufactureras con el 11,50 %, la población ocupada en el comercio al por mayor y menor con el 5,93 % y 4,51 % la población ocupada en el transporte y almacenamiento, siendo estas actividades las más representativas como se puede observar en el siguiente gráfico. (Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló, 2014, p. 42)

Entre las actividades que se realizan se tiene la ganadería, agricultura, explotación de minas y canteras en cuanto se refiere al sector primario, las actividades de manufactura, industrias, electricidad, gestión de residuos y alcantarillado corresponden a sector secundario, el sector terciario representa un mayor porcentaje debido que aquí se ubican las actividades de servicio y comercio (Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló, 2014).

**Figura 5**

*Mapa de Plan de uso y Ocupación de Suelo*



*Nota:* Esta figura muestra cómo se encuentra distribuido la ocupación del suelo según las distintas actividades que se realizan. Tomado de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020).

### **3.9.11. Problemática en la Parroquia Mulaló**

La parroquia de Mulaló a pesar de poseer fuentes de agua presenta problemas en cuanto a infraestructura y cobertura de servicios básicos tanto en el sistema de agua potable y alcantarillado, debido a que en la zona rural el acceso al agua es limitado por dispersión de la población.

La dispersión de las viviendas dificulta la instalación de un sistema de tratamiento que abarque a la población total, además la topografía del terreno presenta un desnivel muy marcado lo que generaría un costo elevado ante la ejecución del proyecto, para que este sea viable se conversó con las personas encargadas de la junta de agua de Mulaló y se acordó realizar el

proyecto para 5 barrios y una lotización que corresponden al área consolidada y no cuenta con ningún tipo de tratamiento actualmente debido a que la planta que tenían se encuentra inhabilitada.

**Tabla 7**

*Problemática de contaminación en la parroquia de Mulaló*

<b>Problemática De Contaminación</b>			
<b>Recurso</b>	<b>Problema Ambiental</b>	<b>Actividad/Causa</b>	<b>Nivel De Afectación</b>
<b>Flora</b>	Contaminación por actividades del hombre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tala de bosques</li> <li>• Quema de bosques</li> </ul>	Alta
<b>Suelo</b>	Contaminación por desechos de sólidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desechos domésticos</li> <li>• Desechos sólidos industriales</li> </ul>	Medio
<b>Agua</b>	Contaminación por aguas residuales agrícolas y domésticas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de pesticidas y fertilizantes</li> <li>• Descargas directas a vertientes, ríos y quebradas</li> </ul>	Alta

*Nota:* La tabla contiene el problema que se presenta en cada uno de los recursos, determinando su nivel de afectación. Tomado de Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló (2014, p. 32)

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Muestreo

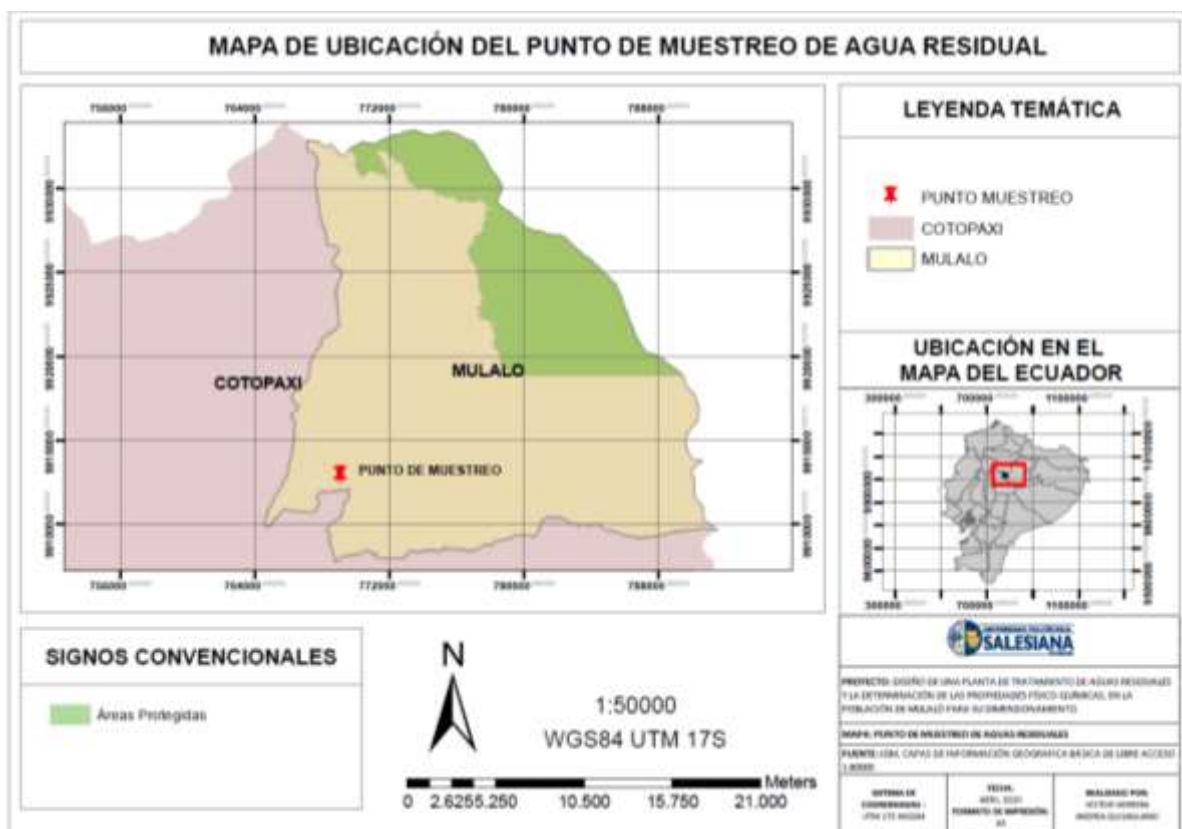
#### 4.1.1. Sitio del Muestreo

La presente investigación tuvo lugar en la parroquia de Mulaló.

El sitio de muestreo fue en un punto central del sistema de alcantarillado de la parroquia, previo a la planta de tratamiento que abastecía a la zona consolidada que se encuentra fuera de funcionamiento.

Figura 6

Mapa de Ubicación del Punto de Muestreo



Nota: La figura muestra la ubicación en donde se realizó el muestreo de agua residual.

## 4.2. Materiales

Los materiales utilizados se dividen en dos etapas: la primera que corresponde a los materiales utilizados para la realización del muestreo y la segunda en la etapa para el análisis en el laboratorio.

### 4.2.1. Materiales Utilizados en la Etapa de Muestreo

Los materiales que se detallan a continuación son los que se utilizaron para toma de muestra:

**Tabla 8**

*Materiales utilizados para realizar el muestreo*

<b>Materiales</b>	<b>Características</b>
<b>Balde</b>	Capacidad para 20 L
<b>Roca</b>	Peso de 0.5 Kg
<b>Botellas plásticas</b>	Capacidad para 5 L – 1 L
<b>Recipientes Plásticos</b>	Capacidad para 125 mL
<b>Soga</b>	Longitud 4 m
<b>Guantes</b>	Quirúrgicos
<b>Marcador permanente</b>	
<b>Etiquetas adhesivas</b>	

*Nota:* La tabla contiene los materiales utilizados para el proceso de muestreo con sus características respectivas.

### 4.2.2. Materiales Utilizados en la Etapa de Laboratorio

Los materiales que detallan a continuación fueron utilizados para llevar a cabo los análisis dentro del laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana que fueron proporcionados por la institución.

**Tabla 9***Materiales utilizados para el análisis en el laboratorio*

<b>Materiales</b>	<b>Características</b>
<b>Vasos de precipitación</b>	Capacidades de: 1000 ml – 250 ml
<b>Conos Imhoff</b>	Capacidad de 1000 mL
<b>Jeringuillas</b>	Capacidad de 5 mL
<b>Crisoles</b>	Capacidad de: 100 ml
<b>Desecador</b>	
<b>Pinzas</b>	
<b>Guantes</b>	
<b>Probeta</b>	Capacidad de 1000 ml

*Nota:* La tabla contiene los materiales utilizados en el laboratorio para el análisis de las muestras tomadas.

#### **4.2.Equipos Utilizados en la Etapa de Laboratorio**

**Tabla 10***Equipos utilizados en el laboratorio*

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>
<b>Turbidímetro</b>	Orbeco Hellige
<b>Equipo OD</b>	Mettler Toledo
<b>pH -metro</b>	Horiba Laqua act.
<b>Mufla</b>	Hanna Instrument
<b>Estufa</b>	Boekel
<b>Balanza Analítica</b>	Mettler Toledo
<b>Prueba de Jarras</b>	Velp Scientifica

*Nota:* La tabla muestra los equipos utilizados en el laboratorio para la medición de los distintos parámetros.

#### **4.3.Metodología**

A continuación, se detallan los parámetros que fueron analizados en las muestras recolectadas en la Parroquia de Mulaló:

**Tabla 11**

*Parámetros analizados para determinar la calidad del agua residual*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
<b>Potencial hidrógeno</b>	-
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100 mL
<b>Coliformes totales</b>	NMP/100 mL
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	
<b>DBO5</b>	mg/L
<b>Demanda química de oxígeno DQO</b>	mg/L
<b>Sólidos sedimentables</b>	mL/Lh
<b>Sólidos suspendidos</b>	mg/L
<b>Sólidos totales</b>	mg/L
<b>Temperatura</b>	°C
<b>Oxígeno Disuelto</b>	
<b>Fosforo total</b>	mg/L
<b>Nitritos</b>	mg/L
<b>Nitratos</b>	mg/L

*Nota:* La tabla contiene los parámetros que fueron analizados en este estudio con sus respectivas unidades.

#### **4.3.1. Metodología de Campo**

##### **4.3.1.1. Muestreo de Aguas**

El método de muestreo depende de varios aspectos y de los recursos que se dispongan, para esta investigación se utilizó el muestreo compuesto para lo cual se recolectó 4 alícuotas de 1 L con intervalos de 1 hora por alícuota desde las 9:00 a.m. hasta las 12:00 p.m. en un solo día. Los parámetros medidos no presentaron cambios significativos durante el periodo de muestreo.

Para el muestreo se utilizó un balde atado a una soga de 4 m de longitud que con ayuda del peso de una roca permitió recoger la muestra de agua residual dentro del sistema de alcantarillado; las muestras recogidas fueron almacenadas en recipientes plásticos previamente esterilizados; una vez obtenida la última muestra, estas fueron homogenizadas en un solo



recipiente, dando como resultado una muestra de 4 L en el tiempo antes mencionado con su respectiva identificación.

El método APHA “Standard Methods for examination of water and wastewater” fue utilizado como referencia para la toma de muestras, transporte y utilización dentro y fuera del laboratorio.

#### **a) pH - Temperatura – Conductividad**

Para la medición de este parámetro se utilizó un pH-metro, se introdujo el electrodo en una muestra de 200 mL; luego se pulso el botón “measure” y se obtuvo los valores correspondientes a pH, temperatura y conductividad, puesto que este equipo permite hacer este tipo de mediciones.

#### **b) Turbidez**

En la medición de este parámetro se utilizó un turbidímetro, para lo cual se colocó una muestra de 10 mL en la cubeta vacía que es parte del equipo; se colocó la cubeta en el equipo y se procedió a pulsar la tecla “enter” para poder visualizar el valor.

#### **c) Oxígeno disuelto**

Para la medición de este parámetro se utilizó el equipo OD; se introdujo el electrodo en una muestra de 200 mL; luego se pulso el botón “measure” y se visualizó el valor de OD en la pantalla del equipo.

### ***4.3.2. Metodología para el Análisis en Laboratorio***

Las muestras recolectadas en el sistema de alcantarillado de la Parroquia Mulaló fueron etiquetadas y enviadas al Laboratorio Oferta de Servicios y Productos-OSP de la Universidad Central del Ecuador para el análisis de coliformes fecales y totales.

En cuanto al análisis de  $DBO_5$ ,  $DQO$ , fósforo total, nitritos, nitratos, se los realizó en el Laboratorio de análisis de alimentos, aguas y afines LABOLAB.

Los parámetros que se analizaron en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana fueron: sólidos totales, sólidos fijos, sólidos volátiles y sólidos sedimentables, además se realizó la prueba de tratabilidad. Para lo cual la metodología aplicada fue en base al método APHA “Standard Methods for examination of water and wastewater”.

#### 4.3.2.1. Mediciones Realizadas en Laboratorio

##### Determinación de Sólidos

**Sólidos Totales.** - Para la determinación de los sólidos totales se recolectó 50 mL de agua residual, la cual fue colocada en un crisol y se sometió a un proceso de evaporación en la estufa a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  por un lapso de 20 h y se determinó la concentración con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg de sólidos totales}}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{V \text{ muestra, ml}}$$

$A = \text{Peso del residuo a } 105\text{ }^{\circ}\text{C} + \text{placa (mg)}$

$B = \text{Peso placa (mg)}$

**Sólidos Fijos.** - Para la determinación de estos sólidos la muestra obtenida anteriormente fue sometida a  $505\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la mufla durante 30 minutos y se determinó la concentración con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg de sólidos fijos}}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{V \text{ muestra, ml}}$$

$A = \text{Peso del residuo a } 505\text{ }^{\circ}\text{C} + \text{placa (mg)}$

$B = \text{Peso placa (mg)}$

**Sólidos Volátiles.** - Este valor se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Sólidos Volátiles} = \text{Sólidos Totales} - \text{Sólidos Fijos}$$

**Sólidos Sedimentables.** - Para determinar los sólidos sedimentables se colocó una muestra de agua residual de 1000 mL en un con Imhoff con ayuda de una probeta; se dejó reposar durante una hora y posterior a ello se tomó la medida de los sólidos que sedimentaron en el recipiente. La concentración se determinó con la siguiente formula:

$$\text{Sólidos Sedimentables} = \frac{\text{Volumen sedimentado (ml)}}{\text{Volumen de la muestra en el cono (L * h)}}$$

**Prueba de Tratabilidad.** - Para este análisis se utilizó la denominada prueba de jarras, la cual permite determinar la dosis óptima de coagulante, que ayudará en la clarificación y remoción de sólidos para que continúe con su proceso de tratamiento.

Para obtención de la dosis óptima de coagulante se colocó 1 L de agua residual en cada una de las 6 jarras que contiene el equipo. Se realizó una mezcla rápida con ayuda de las paletas de agitación del equipo durante 20 segundos a una velocidad de 300 rpm y se dosifico al mismo tiempo el coagulante (Sulfato de Aluminio), 0,05 g/L, 0,1 g/L, 0,2 g/L, 0,4 g/L, 0,7 g/L y 1 g/L respectivamente en cada jarra; luego se disminuyó la velocidad a 30 rpm y se programó la agitación por un periodo de 20 minutos; una vez concluido este tiempo se dejó sedimentar el contenido de las jarras durante 30 minutos, pero al cabo de 15 minutos se pudo observar la sedimentación en los vasos de precipitación; concluido este tiempo con ayuda de una pipeta se tomó una muestra del sobrenadante para determinar su valor de turbidez. Se debe tener en cuenta que las mediciones de turbidez y pH se deben realizar antes y después de que se realice todo el procedimiento antes mencionado.

## 4.4.Elementos de Diseño

### 4.4.1. *Periodo de Diseño*

El diseño se elaboró para un periodo en el cual se estimará los cálculos del diseño de la PTAR, la cual dependerá del crecimiento poblacional. Para este proyecto se considera un tiempo de vida útil de 25 años.

### 4.4.2. *Población Actual*

La población de Mulaló de acuerdo con al último censo realizado en el año 2010 es de 8095 habitantes, la cual está conformada 27 barrios, 6 comunidades, 4 sectores y una lotización.

En cuanto a la población actual considerando los 5 barrios y una lotización quienes son los beneficiarios directos es de 3936 habitantes al año 2020 (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló, 2020).

**Tabla 12**

*Barrios incluidos en la ejecución del proyecto*

<b>Denominación</b>	<b>Nombre</b>	<b>Número de habitantes</b>
Barrio	Mulaló centro	1812
Barrio	El Rosal	720
Barrio	Salatilín	675
Barrio	Macaló chico	264
Barrio	Rumipamba Villacís	150
Lotización	Guillermo Rivera	315
<b>Total:</b>		<b>3936</b>

*Nota:* La tabla presenta los barrios que conforman el área consolidada de la parroquia. Adaptado de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020, p. 40)

#### 4.4.3. Población Futura

Para la ejecución de este proyecto con una estimación de 25 años de vida útil se ha calculado la población futura para el año 2045, en base a las proyecciones poblacionales del año 2010-2020 del sector.

**Tabla 13**

*Proyecciones poblacionales del sector*

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN</b>
2010	3118
2020	3936
2045	5981

*Nota:* La tabla contiene los habitantes determinados a partir de las proyecciones establecidas en los años 2010, 2020 y 2045. Adaptado de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020, p. 35)

Para determinar la población futura se aplicó el método de tasa de crecimiento aritmético, que consiste en calcular la pendiente de la recta conformada con los datos de las proyecciones poblacionales del área donde se ejecutara el proyecto (2010-2020).

$$r = \frac{3936 - 3118}{2020 - 2010} \frac{hab}{año}$$

$$r = 81,8 \frac{hab}{año}$$

Se aplica la ecuación de la recta para determinar la población del año 2045.

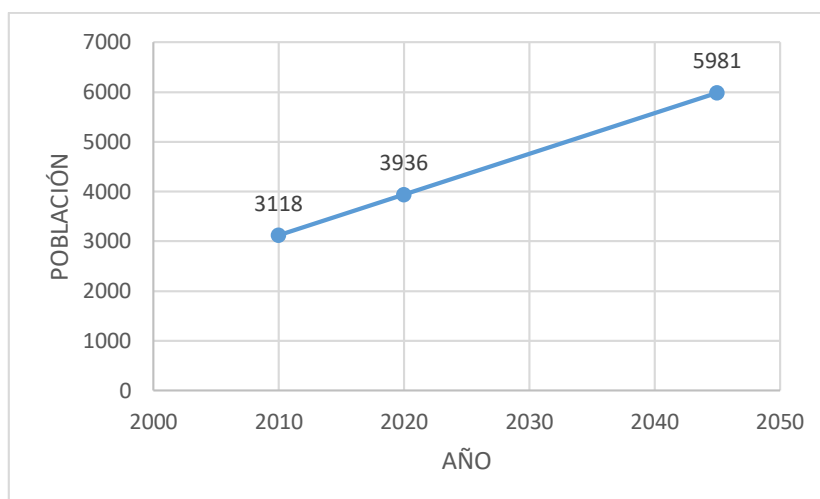
$$Población_{Año\ n} = Población_{Año\ 1} + r * (Año_n - Año_1)$$

$$Población_{2045} = 3936 + 81,8 * (2045 - 2020)$$

$$Población_{2045} = 5981\ hab$$

**Figura 7**

*Proyección poblacional de la zona del proyecto*



*Nota:* La figura muestra el crecimiento poblacional a lo largo del tiempo. Fuente de investigación: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló (2020)

#### **4.4.4. Dotación**

Según la Secretaria del Agua. Norma CO 10.7-602-Revisión (2013) “La producción de agua para satisfacer las necesidades de la población y otros requerimientos, se fijarán en base a estudios se las condiciones particulares de cada población” (p.180), para lo cual este dato ha sido tomado en base a dotaciones recomendadas para poblaciones mayor a 1000 habitantes, que son útiles para estudios de factibilidad.

**Tabla 14**

*Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio*

<b>Niveles de servicio</b>	<b>Clima Frío (l/hab*día)</b>	<b>Clima Cálido (l/hab*día)</b>
<b>Ia</b>	25	30
<b>Ib</b>	50	65
<b>IIa</b>	60	85
<b>IIb</b>	75	100

*Nota:* La tabla contiene las dotaciones establecidas para el área rural. Tomado de Secretaria del Agua. Norma CO 10.7-602-Revisión (2013, p. 31).

El valor utilizado corresponde a 75 (l/hab\*día), puesto que este valor cumple con las características indicadas en la tabla anterior, al encontrarse en una zona con un clima frío.

#### **4.4.5. Cálculo del Caudal de Diseño**

Para el diseño de una laguna anaerobia se debe determinar el caudal, debido a que recibe grandes cantidades de materia orgánica, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{P * D * 0,8}{86400}$$

$Q_i$  = Gasto medio de aguas residuales (L/s)

$D$  = Dotación de agua potable (l/hab/día)

$P$  = Proyección de la población año 2045

0,8 = Coeficiente de retorno de aguas residuales

86400 = Segundos por día

$$Q_i = \frac{5981 * 75 * 0,8}{86400}$$

$$Q_i = 4,15 \frac{L}{s} * 86,4 = 358,56 \frac{m^3}{dia}$$

#### **4.4.6. Datos Climatológicos**

Para el diseño de la PTAR se tomó en cuenta datos meteorológicos de la estación M0004 Rumipamba-Salcedo, esta fue seleccionada debido a la cercanía al área del proyecto a ejecutarse.

**Tabla 15***Información de la estación Rumipamba-Salcedo*

<b>Código</b>	<b>M0004</b>
<b>Nombre de la estación</b>	Rumipamba-Salcedo
<b>Tipo</b>	Agrometereológica
<b>Latitud</b>	01°01'12"S
<b>Longitud</b>	78°35'41"W
<b>Altitud</b>	2685 m.s.n.m
<b>Provincia</b>	Cotopaxi
<b>Institución propietaria</b>	INAMHI

*Nota:* La tabla contiene la información respecto a la estación meteorológica de Rumipamba-Salcedo. Adaptado de INAMHI (2019).

Los datos que se tomaron en cuenta de la estación fueron los de evaporación neta (mm/día) y temperatura del mes más frío (° C). Los datos mencionados corresponden al año 2019 los cuales fueron facilitados por el INAMHI.

**Tabla 16***Datos Climatológicos utilizados*

<b>M0004 RUMIPAMBA-SALCEDO</b>		
<b>Mes</b>	<b>Evaporación (mm) Mensual</b>	<b>Temperatura del aire a la sombra (° C) MÍNIMA (Mensual)</b>
Enero	125,5	9,9
Febrero	92,5	10,2
Marzo	113,2	9,9
Abril	126,2	9,3
Mayo	102,5	10,2
Junio	112,5	9,0
Julio	114,13	8,3
Agosto	129,0	8,0
Septiembre	133,8	7,7



Mes	Evaporación	Temperatura del aire a la sombra
	(mm) Mensual	(° C) MÍNIMA (Mensual)
Octubre	140,6	9,0
Noviembre	148,4	9,0
Diciembre	130,1	9,6
Valor anual	1470,6	9,2
Valor diario	4,03 (mm/día)	

*Nota:* La tabla contiene los valores de evaporación y temperatura mensuales del año 2019 de la estación meteorológica Rumipamba-Salcedo. Tomado de INAMHI (2019)

La temperatura del mes más frío corresponde a septiembre con 7,7 (° C) y el valor de evaporación neta con 4,03 (mm/día).

#### **4.5. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

##### **4.5.1. Diseño del Canal de Entrada**

El canal de entrada es una estructura en forma de un conducto abierto en el cual el agua circula debido a la gravedad y sin presión, dado que la superficie libre de líquido tiene contacto con la atmósfera. Para poder construir estos canales de conducción por lo general se realiza una excavación en el terreno y la cantidad de la tierra que se desaloja puede ser utilizada para nivelar el terreno. Para lo cual se debe considerar varios factores como la velocidad mínima y máxima, el material utilizado, coeficiente de rugosidad, entre otros (Secretaría del Agua. CO 10.07-601, 2011).

**Tabla 17***Datos para el cálculo del canal de entrada*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	0,00415	$m^3/s$	$Q_d$
<b>Base</b>	0,8	$m$	$B$
<b>Coefficiente de rugosidad</b>	0,016	-	$n$
<b>Pendiente</b>	1	%	$S$

*Nota:* En la tabla se encuentran los valores utilizados para el diseño del canal de entrada. Adaptado de Secretaria del Agua. CO 10.07-601 (2011).

El valor tomado para el coeficiente de rugosidad dependerá de la superficie o material que será utilizado para la construcción del canal, el cual para este estudio corresponde a un revestimiento de hormigón. En cuanto a la pendiente se consideró un valor recomendado para tramos ascendentes por la Secretaria del Agua. CO 10.07-601 (2011) para Sistemas de Abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.

#### **a) Coeficiente de Manning**

Este valor permite verificar si la velocidad dentro del canal está en el rango adecuado, mediante las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{Q_d * n}{b^{8/3} * S^{1/2}}$$

$Q_d =$  caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$n =$  coeficiente de rugosidad (adimensional)

$b =$  base del canal (m)

$S =$  pendiente (m/m)

$$k = \frac{0,00415 * 0,016}{0,8^{8/3} * 0,01^{1/2}} = 1,20 * 10^{-3}$$

### b) Altura de agua en el canal

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = 1,6624 * k^{0,74232} * b$$

$k =$  coeficiente de Manning (adimensional)

$b =$  base del canal (m)

$$h = 1,6624 * (1,20 * 10^{-3})^{0,74232} * 0,8 = 0,00902 \text{ m}$$

### c) Radio hidráulico

El radio hidráulico se encuentra en función del ancho y altura del canal.

$$R_h = \frac{b * h}{b + 2 * h}$$

$b =$  base del canal (m)

$h =$  altura de agua en el canal (m)

$$R_h = \frac{0,8 * 0,00902}{0,8 + 2 * 0,00902} = 0,0088 \text{ m}$$

### d) Velocidad en el canal

La velocidad en el canal se determina a partir de la fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} * R_h^{2/3} * S^{1/2}$$

$R_h =$  radio hidráulico (m)

$S =$  pendiente (m/m)

$$v = \frac{1}{0,016} * 0,0088^{2/3} * 0,01^{1/2} = 0,266 \text{ m/s}$$

Según la Secretaria del Agua. CO 10.07-601 (2011) “La velocidad máxima que puede soportar un canal de hormigón es de 10 m/s, sin embargo, esta no debe sobrepasar los 2,5 m/s para evitar la sedimentación de materiales retenidos” (p. 20).

#### 4.5.2. Diseño de Rejillas

Según Romero (2010) “el cribado es la operación utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. La criba puede ser de cualquier material agujereado ordenadamente” (p. 287).

El sistema de rejas está formado por barras de hierro dispuestas verticalmente instaladas en canales por donde circula el agua. La velocidad máxima de entre barras será de 0,5 m/s, con un espaciamiento entre barras de 0,02 m. En el caso de este estudio se ha propuesto el diseño de rejillas con un sistema de limpieza manual por lo cual las barras tendrán una longitud máxima de 2 m formando con la horizontal un ángulo máximo de 60 grados, un espesor de 0,01 m y un coeficiente de pérdidas de 2,42 que corresponde a barras rectangulares. (Secretaria del Agua. CO 10.07-601, 2011, p. 33)

**Tabla 18**

*Datos para el cálculo de rejillas*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	0,00415	$m^3/s$	$Q_d$
<b>Velocidad a través de las barras</b>	0,5	$m/s$	$v_b$
<b>Ancho del canal de llegada</b>	0,8	$m$	$B$
<b>Altura de seguridad (propuesto)</b>	0,90	$m$	$H_s$
<b>Ángulo de inclinación de las barras</b>	60	$grados$	$\alpha$
<b>Separación entre barras</b>	0,02	$m$	$e$
<b>Espesor de las barras</b>	0,01	$m$	$S$

Parámetro	Valor	Unidad	Abreviatura
<b>Coefficiente de pérdida (barras rectangulares)</b>	2,42	–	$\beta$

*Nota:* La tabla contiene los valores requeridos para el diseño del sistema de cribado. Adaptado de Secretaria del Agua. CO 10.07-601 (2011, p.33) y Romero, 2010, (p. 287).

### a) Área libre al paso de agua

Permite establecer el flujo en el canal y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Al = \frac{Q}{v_b}$$

$Q_d =$  caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$v_b =$  velocidad a través de las barras ( $m/s$ )

$$Al = \frac{0,00415}{0,5} = 0,0083 \text{ m}^2$$

### b) Tirante de agua en el canal

Determina la altura de agua dentro del canal, mediante la siguiente fórmula:

$$h = \frac{Al}{b}$$

$b =$  ancho del canal de llegada ( $m$ )

$$h = \frac{0,0083}{0,8} = 0,010 \text{ m}$$

### c) Altura total del canal

Se calcula mediante la suma de la altura de agua en el canal y la altura de seguridad (valor propuesto).

$$H = h + H_s$$

$H_s = \text{altura de seguridad (m)}$

$$H = 0,010 + 0,9 = 0,91 \approx 1 \text{ m}$$

#### **d) Longitud de las barras**

Determina la longitud de cada una de las barras, y se recomienda no exceder el valor del que permita su limpieza.

$$L_b = \frac{H_s}{\text{Sen } \alpha}$$

$\alpha = \text{Ángulo de inclinación de la rejilla}$

$$L_b = \frac{0,9}{\text{Sen } 60} = 1,0392 \text{ m}$$

#### **e) Número de barras**

La cantidad de barras va a ser dado por la persona responsable del diseño, pero se recomienda colocar dos o más barras.

$$n = \left( \frac{b}{e + S} \right) - 1$$

$e = \text{separación entre barras (m)}$

$S = \text{espesor de las barras (m)}$

$$n = \left( \frac{0,8}{0,2 + 0,01} \right) - 1 = 25,6 \approx 26 \text{ barras}$$

#### **f) Pérdida de carga en las rejillas**

Es la pérdida de energía que se determina entre las diferencias de alturas antes y después de las rejillas.

$$h_f = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} * \frac{v_{canal}^2}{2 * g} \text{sen} \alpha$$

$\beta =$  coeficiente de pérdida

$\frac{v_{canal}^2}{2 * g} =$  carga de velocidad antes de la reja (m)

$$h_f = 2,42 \left( \frac{0,01}{0,02} \right)^{4/3} * \frac{(0,266)^2}{2 * 9,8} \text{sen } 60 = 0,00015 \text{ m}$$

Según Romero (2004) “En ningun caso se permite una perdida de energía mayor a 75 cm” (p. 287).

#### 4.5.3. Diseño del Desarenador

Los desarenadores según Romero (2010) “Se usan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga velocidad de asentamiento mayor que el de los sólidos orgánicos degradables de las aguas residuales” (p. 293), por lo general los desarenadores son diseñados con el fin de remover partículas de diámetro mayor a 0,21mm.

##### a) Tiempo de sedimentación:

Se obtuvo el valor con ayuda de un cono Imhoff, mediante la visualización de la cantidad de partículas sedimentadas en un intervalo de cinco minutos durante una hora, con los datos registrados se realizó una gráfica cuya finalidad es determinar el tiempo adecuado de sedimentación.

**Tabla 19**

*Tiempo de sedimentación*

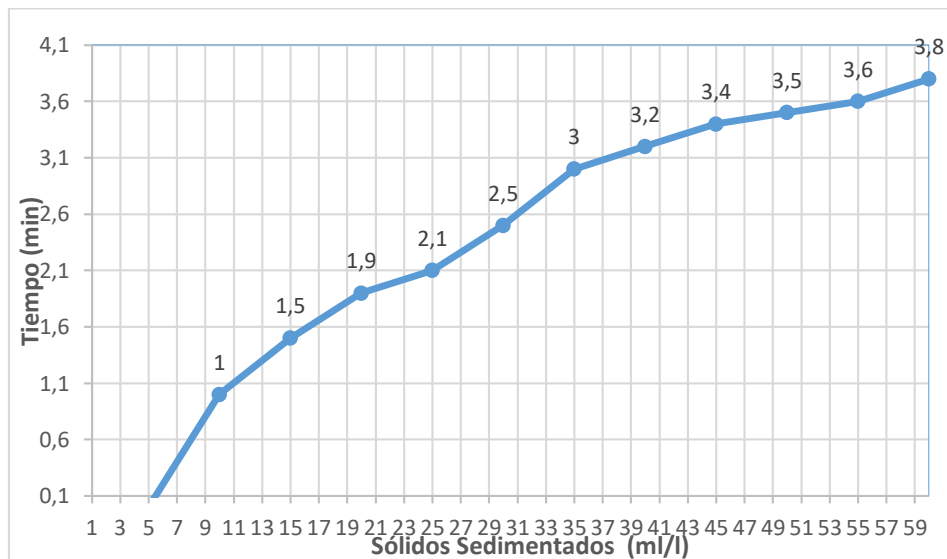
Tiempo	ml/L
5	0
10	1

Tiempo	ml/L
15	1,5
20	1,9
25	2,1
30	2,5
35	2,5
40	2,8
45	3,2
50	3,3
55	3,6
60	3,8

*Nota:* Tiempo de sedimentación de las partículas en intervalos de cinco minutos durante una hora.

**Figura 8**

*Tiempo vs partículas sedimentadas*



*Nota:* La figura muestra la relación entre el tiempo y las partículas sedimentadas durante una hora.

A los 40 minutos se vio la mayor cantidad de partículas sedimentadas, siendo el valor más representativo el dado a los 20 minutos siendo este el tiempo de sedimentación que vamos a utilizar.



**b) Volumen**

$$V = Q_d * T$$

$Q_d = \text{Caudal de diseño (m}^3/\text{s)}$

$T = \text{Tiempo de retención (s)}$

La capacidad del tanque se debe multiplicar por un factor de seguridad propuesto "6"

$$V = 0,00415 * 1200 * 6 = 29,88 \text{ m}^3$$

**c) Área superficial**

El valor del calado corresponde a un valor de 1,2 m el cual evita problemas al retirar los lodos

$$A = \frac{V}{P}$$

$P = \text{Calado (m)}$

$$A = \frac{29,88}{1,2} = 24,9 \text{ m}^2$$

**d) Relación largo-ancho**

$$\frac{3}{1} = \frac{L}{a}$$

$L = \text{Largo}$

$a = \text{Ancho}$

$$L = 3 * a$$

$$A = L * a = 3 a^2$$

$$a = 2,9 \text{ m} ; L = 8,6 \text{ m}$$

#### 4.5.4. Diseño del Floculador

Permite la formación de flóculos que son fácilmente sedimentables por un proceso de adición de sustancias químicas y agitación (Valdez y Vásquez, 2003).

Para el diseño del floculador se consideró el tiempo de formación de flóculos tomado en la prueba de jarras realizada en el laboratorio que corresponde a 10 minutos con una velocidad de 0,30 m/s.

##### a) Longitud total recorrida por el agua

$$L = v * t$$

$v =$  velocidad (m/s)

$t =$  tiempo de retención (s)

$$L = 0,30 * 600L = 180 m$$

##### b) Volumen a mezclar

$$V = Q_d * t$$

$Q_d =$  caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$$V = 0,00415 * 600 = 2,49 m^3$$

##### c) Área transversal del canal entre baffles

$$A = \frac{Q_d}{v}$$

$$A = \frac{0,00415}{0,30} = 0,014 m^2$$

##### d) Profundidad del agua en los canales

Se consideró un ancho de 0,20 m con un factor de seguridad de 1,10.

$$d = \frac{A}{a} * f_s$$

$a = \text{ancho (m)}$

$f_s = \text{factor de seguridad}$

$$d = \frac{0,014}{0,20} * 1,10 = 0,077 \text{ m}$$

**e) Espacio entre el tabique y la pared del tanque**

$$e = 1,5 * a$$

$$e = 1,5 * 0,20 = 0,30 \text{ m}$$

**f) Longitud efectiva útil del canal**

Se consideró un ancho útil del floculador de 4,5 m.

$$l = B - e$$

$B = \text{ancho del floculador}$

$$l = 4,5 - 0,30 = 4,2 \text{ m}$$

**g) Número de canales**

$$N = \frac{L}{l}$$

$$N = \frac{180}{4,2} = 42,85 \approx 43 \text{ canales}$$

**h) Longitud total de la cámara de floculación**

Para el valor del espesor de la lámina se consideró un  $b=0,03\text{cm}$

$$L_T = N * a + (N - 1) * b$$

$b = \text{espesor de la lamina o tabique (m)}$

$$L_T = 43 * 0,20 + (43 - 1) * 0,03 = 9,86 \text{ m}$$

**i) Radio hidráulico**

$$R = \frac{A}{2(d) + a}$$

$$R = \frac{0,014}{2(0,077) + 0,20} = 0,04 \text{ m}$$

**j) Perdida por fricción**

Este tipo de pérdidas se producen a lo largo del canal y se obtiene a partir de la ecuación de Manning:

$$h_f = \frac{(nv)^2 * L}{R^{4/3}}$$

$n = \text{coeficiente de fricción (0,013 concreto simple)}$

$$h_f = \frac{(0,013 * 0,30)^2 * 180}{(0,04)^{4/3}} = 0,200 \text{ m}$$

**k) Perdida adicional**

La constante  $k$  para calcular pérdidas adicionales es de 2 a 4, comúnmente 3.

$$h = \frac{k(N - 1)v^2}{2g}$$

$k = \text{constante empirica}$

$$h = \frac{3(43 - 1)(0,30)^2}{2(9,8)} = 0,58 \text{ m}$$

## l) Pérdidas totales

$$H = h_f + h$$

$$H = 0,200 + 0,58 = 0,258 \text{ m}$$

### 4.5.5. Diseño del Sedimentador

Los tanques de sedimentación reciben las aguas residuales crudas antes del tratamiento biológico, cuya finalidad es la retención de partículas de procesos como coagulación-floculación. El material sedimentado se deposita en el fondo del tanque. El diámetro de las partículas corresponde a valores superiores a 0,05 mm y menores a 0,02 mm (Romero, 2010).

#### a) Tiempo de sedimentación

El tiempo de sedimentación se determinó en la prueba de jarras realizada en el laboratorio que fue de 15 minutos.

#### b) Volumen

$$V = Q_d * T$$

$$Q_d = \text{Caudal de diseño (m}^3/\text{s)}$$

$$T = \text{Tiempo de retención (s)}$$

La capacidad del tanque se debe multiplicar por un factor de seguridad propuesto “6” al igual que el desarenador.

$$V = 0,00415 * 900 * 6 = 22,41 \text{ m}^3$$

#### c) Área superficial

El valor del calado se determina con el valor del volumen y la profundidad el cual corresponde a un valor de 1,2 m al igual que el desarenador.

$$A = \frac{V}{P}$$

$P = \text{Calado (m)}$

$$A = \frac{22,41}{1,2} = 11,21 \text{ m}^2$$

#### d) Relación largo-ancho

Se determina con relaciones establecidas (Romero, 2010):

$$\frac{3}{1} = \frac{L}{a}$$

$L = \text{Largo}$

$a = \text{Ancho}$

$$L = 3 * a$$

$$A = L * a = 3 a^2$$

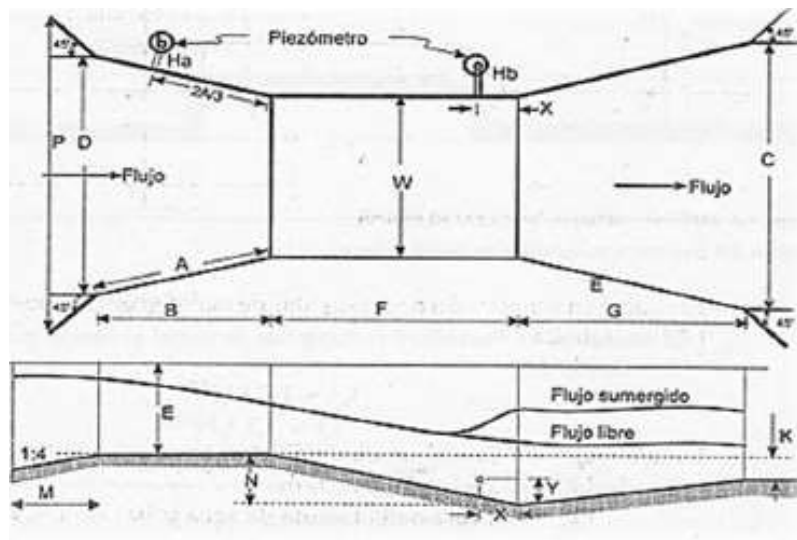
$$a = 1,93 \text{ m} ; L = 5,80 \text{ m}$$

#### 4.5.6. Diseño del Canal Parshall

El canal Parshall es una estructura hidráulica, cuya función principal es la de mezcla al momento de aplicar sustancias químicas floculantes en el flujo de agua circundante de agua residual. Para el dimensionamiento de este tipo de canal se basa en tablas con valores establecidos según Romero (Romero, 2010).

**Figura 9**

*Partes que conforman el Canal Parshall*



*Nota:* La figura muestra el diseño que tendrá el canal Parshall con el ancho de garganta determinado según el caudal. Tomado de Romero (2010).

El ancho de la garganta seleccionado corresponde a un valor de  $w=0,305$  m que se ajusta al caudal de diseño de este estudio, por tanto con este valor se obtienen las dimensiones siguientes:

**Tabla 20**

*Dimensiones establecidas para el diseño del canal Parshall*

<b>W</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>K</b>	<b>N</b>
<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>
0,305	1,372	1,344	0,61	0,845	0,915	0,61	0,915	0,076	0,229

*Nota:* Los valores presentados han sido tomados de Romero (2010).

$W$  = tamaño de la garganta

$A$  = longitud de la pared lateral de la sección convergente

$B$  = longitud axial de la sección convergente

$C$  = ancho del extremo aguas abajo

$D =$  ancho del extremo aguas arriba

$E =$  profundidad de la canaleta

$F =$  longitud de la garganta

$G =$  longitud de la sección divergente

$K =$  diferencia de nivel entre el punto mas bajo y la cresta

$N =$  profundidad de la depresión en la garganta bajo la cresta

#### 4.5.7. Diseño de Laguna Anaerobia

Para el diseño de la laguna anaerobia se necesitará los datos de los siguientes parámetros:

**Tabla 21**

*Datos para el diseño de la laguna anaerobia*

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Abreviatura
Caudal de diseño	358,56	$m^3/día$	$Q_i$
DBO <sub>5</sub> inicial	503	$mg/L$	$DBO_i$
Coliformes fecales	540000000	$NMP/100mL$	$N_i$
Temperatura	7,7	$°C$	$T$
Evaporación	4,03	$mm/día$	$ev$

*Nota:* Los valores presentados en la tabla permiten el diseño de la laguna anaerobia. Fuente de investigación:

Córtés et al. (2017).

##### a) Carga orgánica

Materia orgánica contenida en el agua residual.

$$C. O. = \frac{Q_i DBO_i}{1000}$$

$C. O. =$  carga orgánica (kg)



$Q_i = \text{caudal de diseño (m}^3/\text{día)}$

$DBO_i = \text{concentración de la DBO en la entrada (mg/L)}$

1000 = *factor de conversión*

$$C.O. = \frac{358,56 * 503}{1000} = 180,36 \frac{kg}{dia}$$

## b) Volumen de la laguna

El volumen nos permite conocer el tiempo de retención hidráulica que tendrá la laguna.

$$V_a = \frac{L_i Q_i}{\Lambda_v}$$

$V_a = \text{volumen (m}^3\text{)}$

$L_i = \text{concentración de la materia orgánica a la entrada (mg/L)}$

$Q_i = \text{Gasto medio de aguas residuales (m}^3/\text{día)}$

$\Lambda_v = \text{carga orgánica volumétrica (g DBO}_i/\text{m}^3 * \text{día)}$

$$V_a = \frac{503 * 358,56}{100} = 1803,56 \text{ m}^3$$

## c) Carga Volumétrica de diseño

Carga volumétrica en función de la temperatura, y se utiliza la siguiente fórmula:

$$\Lambda_v = \frac{DBO_i * Q_i}{V_a}$$

$\Lambda_v = \text{carga orgánica volumétrica (g DBO}_i/\text{m}^3 * \text{día)}$

$$\Lambda_v = \frac{503 * 358,56}{1803,5568} = 100 \text{ g/m}^3$$

**d) Área de la laguna.**

La profundidad de la laguna es de  $Z = 4$  metros, debido a que en una laguna anaerobia los lodos son removidos de 2 a 5 años. “Al acumularse por largo periodo de tiempo, se acorta el tiempo de retención hidráulico y se reduce la eficiencia del sistema de tratamiento” Cortés et al. (2017).

$$A_a = \frac{V_a}{Z}$$

$A_a = \text{área de la laguna (m}^2\text{)}$

$Z = \text{profundidad (m)}$

$$A_a = \frac{1803,5568}{4} = 450,89 \text{ m}^2$$

**e) Tiempo de retención hidráulico.**

A partir del volumen de la laguna y el gasto medio de las aguas residuales se calcula el tiempo de retención hidráulico:

$$O_a = \frac{V_a}{Q_i}$$

$O_a = \text{tiempo de retención hidráulico (días)}$

$$O_a = \frac{1803.5568}{358.56} = 5,03 \text{ días}$$

**f) Concentración de la  $DBO_5$  en el efluente de la laguna.**

$$DBO_e = (100 - \%DBO_{removido})DBO_i$$

$DBO_e = \text{Concentración de la materia orgánica en el efluente (mg/L)}$

$$DBO_e = \left(\frac{100 - 40}{100}\right) 503 = 301,80 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

**g) Gasto en el efluente corregido por evaporación.**

Para este cálculo se considera el valor de evaporación que corresponde a 4,03 (mm/día).

$$Q_e = Q_i - 0,001 A_a ev$$

$Q_e =$  Gasto en el efluente ( $m^3/día$ )

$ev =$  evaporación (mm/día)

$$Q_e = 358,56 - (0,001 * 450,8892 * 4,03 = 356,74 \frac{m^3}{día})$$

**h) Remoción de coliformes fecales.**

$$K_t(d^{-1}) = 2,6(1,19)^{T-20}$$

$K_t(d^{-1}) =$  constante global de decaimiento ( $d^{-1}$ )

$$K_t(d^{-1}) = 2,6(1,19)^{7,7-20} = 0.3060 d^{-1}$$

**i) Coliformes fecales en el efluente de la laguna**

$$N_e = \frac{N_i}{1 + K_t O_a}$$

$N_e =$  coliformes fecales en la salida (NMP/100mL)

$N_i =$  coliformes fecales en la entrada (NMP/100mL)

$$N_e = \frac{(540000000)}{1 + (0,3060 * 5,03)} = 212659870 \frac{NMP}{100 mL}$$

**j)  $DBO_5$  corregida por evaporación.**

$$DBO_{corr} = \frac{DBO_e Q_i}{Q_e}$$

$$DBO_{corr} = \frac{301,8 * 358,56}{356,74} = 303,34 \frac{mg}{L}$$

**k) Coliformes fecales corregidos por evaporación.**

$$N_{ecorr} = \frac{N_e Q_i}{Q_e}$$

$$N_{ecorr} = \frac{212659870 * 861,41}{857,04} = 213743061 \frac{NMP}{100 mL}$$

**l) Dimensionamiento: relación largo-ancho**

Se consideró una relación largo-ancho  $x=2$ , con un talud 0:1, por tanto, se tiene:

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_a}{x}}$$

$B_{prom}$  = ancho promedio de la laguna (m)

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{450,8892}{2}} = 15m$$

**Longitud promedio**

$$L_{prom} = \frac{A_{prom}}{B_{prom}}$$

$L_{prom}$  = longitud promedio de la laguna (m)

$$L_{prom} = \frac{450,889}{15} = 30 m$$

**Ancho superior de la laguna**

Considerando un talud 0:1.

$$B_{sup} = B_{prom} + Z(\text{talud})$$

$B_{sup} = \text{ancho superior de la laguna (m)}$

$Z = \text{profundidad (m)}$

$$B_{sup} = 15 + (0) = 15 \text{ m}$$

**Largo superior de la laguna**

$$L_{sup} = L_{prom} + Z(\text{talud})$$

$L_{sup} = \text{largo superior de la laguna (m)}$

$$L_{sup} = 30 + (0) = 30 \text{ m}$$

**Área superficial**

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup}$$

$A_{sup} = \text{área superficial (m}^2\text{)}$

$$A_{sup} = 15 * 30 = 450 \text{ m}^2$$

**Ancho inferior de la laguna**

$$B_{inf} = B_{prom} + Z(\text{talud})$$

$B_{inf} = \text{ancho inferior de la laguna (m)}$

$$B_{inf} = 15 + (0) = 15 \text{ m}$$

**Largo inferior de la laguna**

$$L_{inf} = L_{prom} + Z(\text{talud})$$

$L_{inf} = \text{largo inferior de la laguna (m)}$

$$L_{inf} = 30 + (0) = 30 \text{ m}$$

#### 4.5.8. Diseño de Laguna Facultativa

Para este cálculo se considera los resultados obtenidos de la laguna anaerobia:

**Tabla 22**

*Datos para el diseño de la laguna facultativa*

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Abreviatura
Gasto del efluente	356,74	$m^3/día$	$Q_e$
DBO <sub>5</sub> en el efluente	303,34	mg/L	$DBO_{corr}$
Coliformes fecales	213743061	NMP/100mL	$N_{ecorr}$
Temperatura	7,7	°C	$T$
Evaporación	4,03	mm/día	$ev$

*Nota:* La tabla contiene los parámetros utilizados para el diseño de la laguna facultativa siendo estos determinados en el diseño de la laguna anaerobia.

##### a) Carga orgánica

$$C.O. = \frac{Q_e DBO_{corr}}{1000}$$

$$C.O. = \frac{356,74 * 303,34}{1000} = 108,21 \frac{kg}{día}$$

##### b) Carga superficial de diseño

$$\lambda_s = 250 (1,085)^{T-20}$$

$\lambda_s =$  carga orgánica superficial (kgDBO<sub>5</sub>/ ha \* día)

$T =$  Temperatura (°C)

$$\lambda_s = 250 (1,085)^{7,7-20} = 91,65 \frac{kg DBO_5}{ha * día}$$

##### c) Área de laguna facultativa

$$A_f = \frac{10 DBO_{corr} Q_e}{\lambda_s}$$

$A_f = \text{área de la laguna facultativa (m}^2\text{)}$

$DBO_{corr} = DBO_5 \text{ corregida en el efluente (mg/L)}$

$Q_e = \text{gasto del efluente (m}^3\text{/día)}$

$$A_f = \frac{10 * 303,34 * 356,74}{91,65} = 11806,65 \text{ m}^2$$

**d) Volumen de la laguna**

Se asume una profundidad  $Z=1.5$  metros:

$$V = A_f Z$$

$V = \text{volumen (m}^3\text{)}$

$Z = \text{profundidad (m)}$

$$V = 11806,65 * 1,5 = 17709,98 \text{ m}^3$$

**e) Tiempo de retención hidráulico**

$$Of = \frac{V}{Q_e}$$

$Of = \text{tiempo de retención hidráulico (días)}$

$$Of = \frac{17709,98}{356,74} = 49,64 \text{ días}$$

**f) Dimensionamiento: relación largo-ancho**

Con la finalidad de evitar zonas muertas se sugiere una relación largo-ancho de  $x=3$  y para los bordes se considera un talud de 2:1.

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_f}{x}}$$

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{11806,65}{3}} = 62,7 \text{ m}$$

### Longitud promedio

$$L_{prom} = \frac{A_f}{B_{prom}}$$

$$L_{prom} = \frac{11806,65}{62,73} = 188,2 \text{ m}$$

### Ancho superior de la laguna

Considerando un talud 2:1

$$B_{sup} = B_{prom} + Z(\text{talud})$$

$$B_{sup} = 62,73 + (1,5 * 2) = 65,7 \text{ m}$$

### Largo superior de la laguna

$$L_{sup} = L_{prom} + Z(\text{talud})$$

$$L_{sup} = 188,2 + (1,5 * 2) = 191,2 \text{ m}$$

### Área superficial

$$A_{sup} = B_{sup} L_{sup}$$

$$A_{sup} = 65,7 * 191,2 = 12568,5 \text{ m}^2$$

### Ancho inferior de la laguna

$$B_{inf} = B_{prom} - Z(\text{talud})$$

$$B_{inf} = 62,7 - (1,5 * 2) = 59,7 \text{ m}$$



### Largo inferior de la laguna

$$L_{inf} = L_{prom} - Z(talud)$$

$$L_{inf} = 188,2 - (1,5 * 2) = 185,2 \text{ m}$$

### g) Gasto en el efluente corregido por evaporación

$$Q_{e1} = Q_e - 0,001 A_{sup} ev$$

$$Q_{e1} = 356,74 - (0,001 * 12568,5 * 4,03) = 306,09 \frac{m^3}{dia}$$

### h) Remoción de coliformes fecales

De acuerdo con la metodología descrita, la relación largo-ancho ha sido definida previamente de 3 para determinar el coeficiente de dispersión.

$$x = \frac{L_{prom}}{B_{prom}}$$

$$x = \frac{188,2}{62,7} = 3 \text{ m}$$

### Coefficiente de dispersión

$$d = \frac{x}{-0,26118 + 0,25392x + 1,0136x^2}$$

$d$  = factor de dispersión (adimensional)

$x$  = relación largo ancho

$$d = \frac{3}{-0,26118 + 0,25392(3) + 1,0136(3)^2} = 0,3118$$

### i) Coeficiente de reducción bacteriana.

$$K_b = 0,481(1,075)^{T-20}$$

$K_b = \text{coeficiente de decaimiento bacteriano } (d^{-1})$

$$K_b = 0,481(1,075)^{7,7-20} = 0,345 d^{-1}$$

**j) Constante “a”**

Esta constante se determina para el cálculo de los coliformes fecales presentes en el efluente.

$$a = \sqrt{1 + 4 K_b O f d}$$

$$a = \sqrt{1 + 4(0,345 * 49,64 * 0,3118)}$$

$$a = 4,7318$$

**k) Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa.**

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 a e^{(1-\frac{a}{2d})}}{(1+a)^2}$$

$\frac{N_f}{N_o} = \text{coeficiente de coliformes fecales remanente}$

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * 4,7318 * e^{(1-\frac{4,7318}{2*0,3118})}}{(1+4,7318)^2} = 0,001449$$

Al multiplicar por los coliformes fecales en el influente ( $N_{ecorr}$ ), se tiene:

$$N_o = \frac{N_f}{N_o} * N_{ecorr}$$

$$N_o = 0,001449 * 21374306 = 309800 \frac{NMP}{100 mL}$$

**l) Coliformes fecales corregidos por evaporación**

$$N_{ecorr1} = \frac{N_o Q_i}{Q_{e1}}$$

$$N_{ecorr1} = \frac{30980 * 356,74}{306,09} = 36106 \frac{NMP}{100 mL}$$

**m) Concentración de la  $DBO_5$  en el efluente de la laguna y constantes para lagunas facultativas.**

El factor  $K_f$  es utilizado para diferentes temperaturas.

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1,085)^{35-T}}$$

$K_f =$  Constante de decaimiento a una temperatura en cualquier ( $dia^{-1}$ )

$$K_f = \frac{1.2}{(1,085)^{35-7,7}} = 0,1294 d^{-1}$$

**n) Concentración de la materia orgánica en la salida del estanque**

$$DBO_{ef} = \frac{DBO_{corr}}{K_f O_f + 1}$$

$DBO_{ef} =$  Concentración de la  $DBO$  en el efluente en ( $mg/L$ )

$$DBO_{ef} = \frac{303,34}{(0,1294 * 49,64) + 1} = 40,86 \frac{mg}{L}$$

**o) Eficiencia de remoción de la  $DBO_5$**

La capacidad de cumplir adecuadamente la función de remoción de los contaminantes se calcula de a partir de la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{(DBO_{corr} - DBO_{ef})}{DBO_{corr}} * 100$$

$\% =$  Eficiencia de remoción de la  $DBO_5$

$$\% = \frac{(303,34 - 40,86)}{303,34} * 100 = 86,53 \%$$

**p)  $DBO_5$  corregida por evaporación.**

$$DBO_{corr1} = \frac{Q_e DBO_{ef}}{Q_{e1}}$$

$$DBO_{corr1} = \frac{356,74 * 40,86}{306,09} = 47,62 \frac{mg}{L}$$

El dimensionamiento de las siguientes lagunas de maduración tiene como finalidad la reducción de los coliformes fecales hasta llegar a los límites establecidos por la normativa de descarga.

**4.5.9. Diseño de la Primera Laguna de Maduración**

**Tabla 23**

*Datos para el diseño de la primera laguna de maduración*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Gasto del efluente</b>	306,09	$m^3/día$	$Q_{e1}$
<b><math>DBO_5</math> en el efluente</b>	47,62	$mg/L$	$DBO_{corr1}$
<b>Coliformes fecales</b>	36106	$NMP/100mL$	$N_{ecorr1}$
<b>Tiempo de retención</b>	10	días	$O_m$
<b>Evaporación</b>	4,03	$mm/día$	$ev$
<b>Temperatura</b>	7,7	$^{\circ}C$	$T$

*Nota:* Los datos presentados corresponde a valores determinados en el efluente de la laguna facultativa.

**a) Volumen de la laguna.**

$$V = Q_{e1} O_m$$

$Q_i =$  gasto del efluente ( $m^3/día$ )

$O_m =$  Tiempo de retención en laguna de maduración (días)

$$V = 306,1 * 10 = 3060,1 m^3$$

**b) Área de la laguna**

Se considera una profundidad de  $Z = 1\text{ m}$

$$Am1 = \frac{V}{Z}$$

$Z = \text{profundidad de la laguna (m)}$

$$Am1 = \frac{3060,1}{1} = 7380\text{m}^2$$

### c) Dimensionamiento

El ancho promedio es igual al del estanque facultativo para ahorrar costos de construcción.

$$B_{prom} = 62,73\text{ m}$$

$$L_{prom} = \frac{Am}{B_{prom}}$$

$$L_{prom} = \frac{3060,9}{62,7} = 75,9\text{m}$$

### Ancho superior de la laguna

Se consideró un talud 2:1 con la finalidad de evitar deslizamientos.

$$B_{sup} = B_{prom} + Z (\text{talud})$$

$$B_{sup} = 62,73 + (1 * 2) = 64,7\text{ m}$$

### Largo superior de la laguna

$$L_{sup} = L_{prom} + Z (\text{talud})$$

$$L_{sup} = 48,79 + (1 * 2) = 50,8\text{ m}$$

### Área superficial

$$A_{\text{sup}} = B_{\text{sup}} L_{\text{sup}}$$

$$A_{\text{sup}} = 64,73 * 50,79 = 3288 \text{ m}^2$$

### Ancho inferior de la laguna

$$B_{\text{inf}} = B_{\text{prom}} - Z(\text{talud})$$

$$B_{\text{inf}} = 62,73 - (1 * 2) = 60,7 \text{ m}$$

### Largo inferior de la laguna

$$L_{\text{inf}} = L_{\text{prom}} - Z(\text{talud})$$

$$L_{\text{inf}} = 48,79 - (1 * 2) = 46,8 \text{ m}$$

### d) Gasto en el efluente corregido por evaporación.

$$Q_{e2} = Q_{e1} - 0.001 A_{\text{sup}} \text{ ev}$$

$$Q_{e2} = 306,1 - (0.001 * 3288 * 4,03) = 292,84 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

### e) Remoción de coliformes fecales

La ecuación para calcular el coeficiente de dispersión incluye la relación largo ancho (x), por tanto:

$x = \text{Relación largo ancho (m)}$

$$x = \frac{L_{\text{prom}}}{B_{\text{prom}}}$$

$$x = \frac{48,8}{62,73} = 0,78 \text{ m}$$

**f) Coeficiente de dispersión**

$$d = \frac{x}{-0,26118 + 0,25392 x + 1,0136 x^2}$$

$$d = \frac{0,78}{-0,26118 + 0,25392 (0,78) + 1,0136 (0,78)^2} = 1,4155$$

**g) Coeficiente de reducción bacteriana.**

$$K_b = 0,841 (1,075)^{T-20}$$

$$K_b = 0,841 (1,075)^{7,7-20} = 0,3455 d^{-1}$$

**h) Constante "a"**

$$a = \sqrt{1 + 4 K_b O_m d}$$

$$a = \sqrt{1 + 4 (0,3455 * 10 * 1,4155)} = 4,5347$$

**i) Coliformes fecales en el efluente de la laguna de maduración.**

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 a e^{\left(\frac{1-a}{2d}\right)}}{(1+a)^2}$$

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * 4,5347 * e^{\left(\frac{1-4,5225}{2*1,4075}\right)}}{(1+4,5225)^2} = 0,16989$$

Al multiplicar por los coliformes fecales en el influente ( $N_{ecorr1}$ ), se tiene:

$$N_e = \frac{N_f}{N_o} * N_{ecorr1}$$

$$N_e = 0,16989 * 36106 = 6134,3 \frac{NMP}{100 mL}$$

**j) Coliformes fecales corregidos por evaporación.**

$$N_{ecorr2} = \frac{N_e Q_{e1}}{Q_{e2}}$$

$$N_{ecorr2} = \frac{6134,3 * 306,09}{292,84} = 6411,86 \frac{NMP}{100 mL}$$

**k) Concentración de la DBO<sub>5</sub> en el efluente de la laguna y la constante para lagunas**

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1,085)^{35-T}}$$

$$K_f = \frac{1,2}{(1,085)^{35-7,7}} = 0,1294 d^{-1}$$

Concentración de la DBO en el efluente de la laguna.

$$DBO_{ef} = \frac{DBO_{corr1}}{K_f O_m + 1}$$

$$DBO_{ef} = \frac{47,62}{(0,1294 * 10) + 1} = 20,76 \frac{mg}{L}$$

**l) Eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>**

$$\% = \frac{(DBO_{corr1} - DBO_{ef})}{DBO_{corr1}} * 100$$

$$\% = \frac{(47,62 - 20,75)}{47,62} * 100 = 56,41 \%$$

**m) DBO<sub>5</sub> corregida por evaporación**

$$DBO_{corr2} = \frac{Q_{e1} DBO_{ef}}{Q_{e2}}$$

$$DBO_{corr2} = \frac{306,09 * 20,75}{292,84} = 21,70 \frac{mg}{L}$$



#### 4.5.10. Diseño de la Segunda Laguna de Maduración

Tabla 24

Datos para el diseño de la segunda laguna de maduración

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	Abreviatura
Gasto del efluente	292,84	$m^3/día$	$Q_{e2}$
DBO <sub>5</sub> en el efluente	21,70	$mg/L$	$DBO_{corr2}$
Coliformes fecales	6411,86	$NMP/100mL$	$N_{ecorr2}$
Tiempo de retención	7	días	$O_m$
Evaporación	4,03	$mm/día$	$ev$
Temperatura	7,7	$^{\circ}C$	$T$

Nota: Los valores que contiene la tabla corresponden al efluente de la primera laguna de maduración.

##### a) Volumen de la laguna

$$V = Q_{e2} O_m$$

$$V = 292,84 * 7 = 2049,9 m^3$$

##### b) Área de la laguna

Se considera una profundidad de  $Z=1$  m.

$$Am2 = \frac{V}{Z}$$

$$Am2 = \frac{2049,89}{1} = 2049,89 m^2$$

##### c) Dimensionamiento

Se toma en cuenta el mismo ancho de la laguna facultativa.

$$B_{prom} = 62,7$$

$$L_{prom} = \frac{Am}{B_{prom}}$$

$$L_{prom} = \frac{2049,89}{62,7} = 32,7 \text{ m}$$

### **Ancho superior de la laguna**

Se consideró un talud 2:1

$$B_{sup} = B_{prom} + Z (\text{talud})$$

$$B_{sup} = 62,7 + (1 * 2) = 64,7 \text{ m}$$

### **Largo superior de la laguna**

$$L_{sup} = L_{prom} + Z (\text{talud})$$

$$L_{sup} = 32,7 + (1 * 2) = 34,7 \text{ m}$$

### **Área superficial**

$$A_{sup} = B_{sup} L_{sup}$$

$$A_{sup} = 64,7 * 34,7 = 2244,7 \text{ m}^2$$

### **Ancho inferior de la laguna**

$$B_{inf} = B_{prom} - Z (\text{talud})$$

$$B_{inf} = 62,7 - (1 * 2) = 60,7 \text{ m}$$

### **Largo inferior de la laguna**

$$L_{inf} = L_{prom} - Z (\text{talud})$$

$$L_{inf} = 34,68 - (1 * 2) = 32,68 \text{ m}$$

### **d) Gasto en el efluente corregido por evaporación.**

$$Q_{e3} = Q_{e2} - 0,001 A_{sup} \text{ ev}$$

$$Q_{e3} = 292,84 - (0,001 * 2244,7 - 4,03) = 283,8 \frac{m^3}{día}$$

**e) Remoción de coliformes fecales**

La ecuación para calcular el Coeficiente de dispersión incluye la relación largo-ancho (x), por lo tanto:

$$x = \frac{L_{prom}}{B_{prom}}$$

$$x = \frac{32,68}{62,73} = 0,52$$

**Coeficiente de dispersión**

$$d = \frac{x}{-0,26118 + 0,25392 x + 1,0136 x^2}$$

$$d = \frac{0,52}{-0,26118 + 0,25392(0,52) + 1,0136 (0,52)^2} = 3,5659$$

**f) Coeficiente de reducción bacteriana.**

$$K_b = 0,841 (1,075)^{T-20}$$

$$K_b = 0,841 (1,075)^{7,7-20} = 0,3455 d^{-1}$$

**g) Constante “a”**

$$a = \sqrt{1 + 4 K_b O_m d}$$

$$a = \sqrt{1 + (4 * 0,3455 * 7 * 3,5659)} = 5,9581$$

**h) Coliformes fecales en el efluente de la laguna de maduración.**

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 a e^{(\frac{1-a}{2d})}}{(1+a)^2}$$

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * 5,9581 * e^{\left(\frac{1-5,9581}{2*3,5054}\right)}}{(1 + 5,9581)^2} = 0,2456$$

Al multiplicar por los coliformes fecales en el influente ( $N_{ecorr2}$ ), se tiene:

$$N_o = \frac{N_f}{N_o} * N_{ecorr2}$$

$$N_o = 0,2456 * 6411,86 = \mathbf{1574,89} \frac{\mathbf{NMP}}{\mathbf{100 mL}}$$

**i) Coliformes fecales corregidos.**

$$N_{ecorr3} = \frac{N_o Q_{e2}}{Q_{e3}}$$

$$N_{ecorr3} = \frac{1574,88 * 292,84}{283,8} = \mathbf{1625,09} \frac{\mathbf{NMP}}{\mathbf{100 mL}} < \mathbf{2000} \frac{\mathbf{NMP}}{\mathbf{100 mL}}$$

Este valor cumple con la normativa vigente en cuanto se refiere a los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, debido a que tiene un valor menor a lo establecido (Ministerio del Ambiente, 2015).

**j) Concentración de la  $DBO_5$  en el efluente**

$$K_f = \frac{K_{f35}}{(1,085)^{35-T}}$$

$$K_f = \frac{1,2}{(1,085)^{7,7-12,9}} = 0,1294 d^{-1}$$

Concentración de la  $DBO$  en el efluente de la laguna

$$DBO_{ef} = \frac{DBO_{corr2}}{K_f O_m + 1}$$

$$DBO_{ef} = \frac{21,7}{(0,1294 * 7) + 1} = 11,38 \frac{mg}{L}$$

**k) Eficiencia de remoción de la  $DBO_5$**

$$\% = \frac{(DBO_{corr2} - DBO_{ef})}{DBO_{corr2}} * 100$$

$$\% = \frac{(21,69 - 11,38)}{21,69} * 100 = 47,53 \%$$

**l)  $DBO_5$  corregida por evaporación.**

$$DBO_{corr3} = \frac{Q_{e2} DBO_{ef}}{Q_{e3}}$$

$$DBO_{corr3} = \frac{292,84 * 11,38}{283,79} = 11,75 \frac{mg}{L} < 100 \frac{mg}{L}$$

El valor obtenido de  $DBO_5$  se encuentra dentro de los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce, puesto que su valor es menor a los 100 mg/L.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1.Resultados

A continuación, se presenta los resultados que corresponden a los apartados de calidad de agua realizados, prueba de tratabilidad y el dimensionamiento de la PTAR, resumidos en las siguientes tablas:

#### 5.1.1. Resultados para Análisis de Calidad de Agua

##### 5.1.1.1.Parámetros in situ

La siguiente tabla contiene los valores obtenidos de la medición de los parámetros en el muestreo in situ:

**Tabla 25**

*Resultados del análisis de calidad de agua in situ*

	<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (° C)</b>	<b>OD (mg/L)</b>	<b>Conductividad (ms/cm)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
<b>Alícuota 1</b>	9:00 a.m.	7,76	16,2	2,08	0,756	110,4
<b>Alícuota 2</b>	10:00 a.m.	7,71	16,1	0,79	0,92	195,1
<b>Alícuota 3</b>	11:00 a.m.	7,54	16,4	1,13	1,013	236,7
<b>Alícuota 4</b>	12:00 p.m.	7,35	18,7	0,92	1,15	208,5
<b>Muestra</b>		<b>7,59</b>	<b>16,85</b>	<b>1,23</b>	<b>0,95975</b>	<b>187,675</b>

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos a partir de las mediciones in situ de la calidad de agua.

##### 5.1.1.2.Sólidos Presentes en el Agua

Los resultados obtenidos en el laboratorio se derivan de la aplicación de las fórmulas correspondientes y se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 26***Resultados del análisis de sólidos en el agua*

	<b>Fecha de Análisis</b>	<b>ST (mg/L)</b>	<b>SF (mg/L)</b>	<b>SV (mg/L)</b>	<b>SSed (mL/L*h)</b>
Muestra 1	05/03/2020	814	334	400	3,8
Muestra 2	05/03/2020	826	342	484	3,6
Muestra 3	05/03/2020	828	336	492	4,5
<b>Promedio de las muestras</b>	05/03/2020	<b>822,67</b>	<b>337,33</b>	<b>458,67</b>	<b>3,97</b>

*Nota:* Los valores muestran los resultados obtenidos a partir de la determinación de sólidos realizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana.

### **5.1.2. Resultados del Análisis Químico y Microbiológico**

Los resultados que corresponden al análisis químico y microbiológico fueron entregados por parte del Laboratorio Oferta De Servicios Y Productos- OSP de la Universidad Central del Ecuador y el Laboratorio de análisis de alimentos aguas y afines LABOLAB, los cuales se encuentran reflejados en las siguientes tablas:

**Tabla 27***Resultados del análisis microbiológico de agua residual para coliformes*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método</b>
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100 mL	$5,4 \times 10^8$	MMI-11/SM 9221-B MODIFICADO
<b>Coliformes totales</b>	NMP/100 mL	$9,2 \times 10^{10}$	MMI-11/SM 9221-E MODIFICADO

*Nota:* La tabla contiene los valores entregados en el informe del análisis microbiológico realizado en el Laboratorio de la Universidad Central del Ecuador.

**Tabla 28***Resultados del análisis químico de agua residual*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método</b>
<b>Demanda bioquímica de oxígeno DBO5</b>	mg/L	503	Standard Methods 5210 B
<b>Demanda química de oxígeno DQO</b>	mg/L	584	Standard Methods 5220 D
<b>Fosforo total</b>	mg/L	34,03	Standard Methods 4500 P-C
<b>Nitritos</b>	mg/L	0,09	Standard Methods 4500- $NO_2^-$ B
<b>Nitratos</b>	mg/L	<1,00	Standard Methods 4500- $NO_3^-$ D

*Nota:* La tabla contiene los valores entregados en el informe del análisis químico de agua residual realizado en el laboratorio de análisis de alimentos aguas y afines, LABOLAB

Los datos antes descritos nos indican una cantidad baja de nitrógeno y alta de fósforo, ya que estos elementos son de gran importancia para el crecimiento adecuado de microorganismos y al no estar en concentraciones adecuadas generaría problemas en la funcionalidad como el proceso de eutrofización en las lagunas, por lo cual se ve en la necesidad de reducir la cantidad de fosforo mediante el uso de sales en los sólidos suspendidos totales y su posterior eliminación, en nuestro estudio utilizaremos el sulfato de aluminio que ayudará con la precipitación de los fosfatos, en cuanto al nitrógeno existen métodos biológicos que convierten los nitritos y nitratos como resultado final en  $CO_2$  y  $N_2$  mediante la desnitrificación que trata de un proceso respiratorio anaeróbico con esto se contará con cantidades adecuadas que nos brindara una buena oxigenación (González, 2016).



### 5.1.3. Resultados de la Prueba de Tratabilidad

Los valores que se presentan fueron determinados en el análisis de prueba de jarras, el cual permite conocer la dosis óptima de coagulante que será usado para el tratamiento de las aguas residuales:

**Tabla 29**

*Resultados de la prueba de jarras*

Concentración del floculante	Inicial		Final		% de remoción
	pH	Turbidez (NTU)	pH	Turbidez (NTU)	
0,05 g/L	6,21	200,3	6,29	43,32	78,37
0,1 g/L	6,21	198,2	6,20	40,49	79,57
0,2 g/L	6,20	202,9	6,25	40,82	79,88
0,4 g/L	6,19	173,3	6,22	39,68	77,10
0,7 g/L	6,00	191,5	6,12	54,01	71,79
1 g/L	5,98	163,3	6,07	51,40	68,52

*Nota:* La tabla contiene los valores determinados de turbidez y pH obtenidos en la prueba de jarras realizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana.

Para determinar el % de remoción se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de remoción} = \frac{\text{turbidez inicial} - \text{turbidez final}}{\text{turbidez inicial}} * 100$$

Con los resultados obtenidos de la prueba de tratabilidad se pudo establecer que la dosis óptima de coagulante que tuvo mayor porcentaje de remoción fue la dosis de 0,2 g/L de Sulfato de Aluminio llegando a remover un 79,88 %.

## 5.2. Resultados del Dimensionamiento

### 5.2.1. Dimensionamiento Canal de Entrada

La siguiente tabla muestra las dimensiones del canal de entrada en base al caudal de diseño:

**Tabla 30***Dimensiones del canal de entrada*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Base (propuesto)</b>	0,80	<i>m</i>	<i>b</i>
<b>Espesor (propuesto)</b>	0,19	<i>m</i>	<i>E</i>
<b>Largo</b>	3	<i>m</i>	<i>L</i>
<b>Altura total</b>	1	<i>m</i>	<i>H</i>
<b>Altura de seguridad (propuesto)</b>	0,90	<i>m</i>	<i>H<sub>s</sub></i>
<b>Pendiente (propuesto)</b>	1	%	<i>S</i>

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento del canal de entrada.

### 5.2.2. Dimensionamiento Rejillas

En la siguiente tabla se resume los valores determinados para el diseño de las rejillas en relación con el caudal.

**Tabla 31***Dimensiones de las rejillas*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Área libre al paso de agua</b>	0,0083	<i>m</i> <sup>2</sup>	<i>Al</i>
<b>Longitud de las barras</b>	1,0392	<i>m</i>	<i>L<sub>b</sub></i>
<b>Numero de barras</b>	26	–	<i>N</i>
<b>Pérdida de energía</b>	0,00015	<i>m</i>	<i>h<sub>f</sub></i>
<b>Ancho</b>	0,8	<i>m</i>	<i>B</i>
<b>Área total de las rejillas</b>	0,83	%	<i>A</i>

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento del sistema de cribado.

### 5.2.3. Dimensionamiento Desarenador

A continuación, se presenta las dimensiones determinadas para el diseño del desarenador:

**Tabla 32**

*Dimensiones del desarenador*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	0,0097	$m^3/s$	$Q_d$
<b>Tiempo de sedimentación</b>	20	$min$	$T_s$
<b>Profundidad</b>	1,2	$m$	$P$
<b>Volumen</b>	29,88	$m^3$	$V$
<b>Área superficial</b>	24,9	$m^2$	$A_s$
<b>Ancho</b>	2,9	$m$	$a$
<b>Largo</b>	8,6	$m$	$L$

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento del desarenador.

#### 5.2.4. Dimensionamiento Floculador

**Tabla 33**

*Dimensiones del floculador*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Longitud total recorrida</b>	180	$m$	$L$
<b>Volumen de agua</b>	2,49	$m^3$	$V$
<b>Área transversal de los canales</b>	0,014	$m^2$	$A$
<b>Profundidad del agua</b>	0,077	$m$	$D$
<b>Espacio entre el tabique y la pared del tanque</b>	0,30	$m$	$E$
<b>Ancho del floculador</b>	4,5	$m$	$B$
<b>Longitud efectiva útil del canal</b>	4,2	$m$	$L$
<b>Numero requerido de canales</b>	43	—	$N$
<b>Longitud total de la cámara de floculación</b>	9,86	$m$	$L_T$
<b>Radio hidráulico</b>	0,04	$m$	$R$
<b>Pérdidas por fricción</b>	0,200	$m$	$h_f$

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento del floculador.

### 5.2.5. Dimensionamiento Sedimentador

Las dimensiones del sedimentador se determinaron a partir del caudal de diseño y las características del agua residual, las cuales se muestran a continuación:

**Tabla 34**

*Dimensiones del sedimentador*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	0,00415	$m^3/s$	$Q_d$
<b>Tiempo de sedimentación</b>	15	$min$	$T$
<b>Profundidad</b>	1,2	$m$	$P$
<b>Volumen</b>	22,41	$m^3$	$P$
<b>Área superficial</b>	11,21	$m^2$	$A_s$
<b>Ancho</b>	1,93	$m$	$a$
<b>Largo</b>	5,80	$m$	$L$

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento del sedimentador.

### 5.2.6. Dimensionamiento Canal Parshall

El dimensionamiento del canal se realizó en base a valores establecidos con sus distintas partes que lo componen, dimensiones que se encuentran especificadas en la **Tabla 20**.

### 5.2.7. Dimensionamiento Laguna Anaerobia

En la siguiente tabla se muestra los valores determinados para el diseño de la laguna anaerobia en base al caudal de diseño, las características del agua residual y de factores externos como la evaporación y la temperatura del mes más frío:

**Tabla 35***Dimensiones de la laguna anaerobia*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	358,56	$m^3/día$	$Q_i$
<b>Profundidad</b>	4	$m$	$Z$
<b>Volumen de la laguna</b>	1803,56	$m^3$	$V_a$
<b>Tiempo de retención</b>	5	$días$	$O_a$
<b>Área promedio</b>	450,89	$m^2$	$A_a$
<b>Relación largo ancho</b>	2		$x$
<b>Talud</b>	0:1	—	—
<b>Ancho promedio</b>	15	$m$	$B_{prom}$
<b>Largo promedio</b>	30	$m$	$L_{prom}$
<b>Ancho superior</b>	15	$m$	$B_{sup}$
<b>Largo superior</b>	30	$m$	$L_{sup}$
<b>Área superficial</b>	450	$m^2$	$A_{sup}$
<b>Ancho inferior</b>	15	$m$	$B_{inf}$
<b>Largo inferior</b>	30	$m$	$L_{inf}$

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento de la laguna anaerobia.

### 5.2.8. Dimensionamiento Laguna Facultativa

Los valores determinados para el diseño se basaron de los resultados de la laguna anaerobia:

**Tabla 36***Dimensiones de la laguna facultativa*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	356,74	$m^3/día$	$Q_e$
<b>Profundidad</b>	1,5	$m$	$Z$
<b>Volumen de la laguna</b>	17709,9	$m^3$	$V_a$
<b>Tiempo de retención</b>	50	$días$	$O_a$

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Área promedio</b>	11806,65	$m^2$	$A_f$
<b>Relación largo ancho</b>	3		$x$
<b>Talud</b>	2:1	—	—
<b>Ancho promedio</b>	62,7	$m$	$B_{prom}$
<b>Largo promedio</b>	188,2	$m$	$L_{prom}$
<b>Ancho superior</b>	65,7	$m$	$B_{sup}$
<b>Largo superior</b>	191,2	$m$	$L_{sup}$
<b>Área superficial</b>	12568,5	$m^2$	$A_{sup}$
<b>Ancho inferior</b>	59,7	$m$	$B_{inf}$
<b>Largo inferior</b>	185,2	$m$	$L_{inf}$

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento de la laguna facultativa.

### 5.2.9. Dimensionamiento de las Lagunas de Maduración

En el presente estudio se ha diseñado dos lagunas de maduración con el fin de que los coliformes fecales eliminados cumplan con la normativa vigente de descarga de agua residual.

Valores que se encuentran resumidos a continuación:

**Tabla 37**

*Dimensiones de la primera laguna de maduración*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	306,09	$m^3/día$	$Q_{e1}$
<b>Profundidad</b>	1	$m$	$Z$
<b>Volumen de la laguna</b>	3060,1	$m^3$	$V$
<b>Tiempo de retención</b>	10	días	$O_a$
<b>Área promedio</b>	7380	$m^2$	$Am1$
<b>Relación largo ancho</b>	0,78		$x$
<b>Talud</b>	2:1	—	—
<b>Ancho promedio</b>	62,7	$m$	$B_{prom}$
<b>Largo promedio</b>	75,9	$m$	$L_{prom}$

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Ancho superior</b>	64,7	<i>m</i>	<i>B<sub>sup</sub></i>
<b>Largo superior</b>	50,8	<i>m</i>	<i>L<sub>sup</sub></i>
<b>Área superficial</b>	3288	<i>m</i> <sup>2</sup>	<i>A<sub>sup</sub></i>
<b>Ancho inferior</b>	60,7	<i>m</i>	<i>B<sub>inf</sub></i>
<b>Largo inferior</b>	46,8	<i>m</i>	<i>L<sub>inf</sub></i>

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento de la primera laguna de maduración.

**Tabla 38**

*Dimensiones de la segunda laguna de maduración*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Caudal de diseño</b>	292,84	<i>m</i> <sup>3</sup> / <i>día</i>	<i>Q<sub>e2</sub></i>
<b>Profundidad</b>	1	<i>m</i>	<i>Z</i>
<b>Volumen de la laguna</b>	2049,9	<i>m</i> <sup>3</sup>	<i>V</i>
<b>Tiempo de retención</b>	7	<i>días</i>	<i>O<sub>a</sub></i>
<b>Área promedio</b>	4947,90	<i>m</i> <sup>2</sup>	<i>Am2</i>
<b>Relación largo ancho</b>	0,52		<i>x</i>
<b>Talud</b>	2:1	—	—
<b>Ancho promedio</b>	62,7	<i>m</i>	<i>B<sub>prom</sub></i>
<b>Largo promedio</b>	32,7	<i>m</i>	<i>L<sub>prom</sub></i>
<b>Ancho superior</b>	64,7	<i>m</i>	<i>B<sub>sup</sub></i>
<b>Largo superior</b>	34,7	<i>m</i>	<i>L<sub>sup</sub></i>
<b>Área superficial</b>	2244,7	<i>m</i> <sup>2</sup>	<i>A<sub>sup</sub></i>
<b>Ancho inferior</b>	60,7	<i>m</i>	<i>B<sub>inf</sub></i>
<b>Largo inferior</b>	32,7	<i>m</i>	<i>L<sub>inf</sub></i>

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores obtenidos para el dimensionamiento de la segunda laguna de maduración.

### 5.3. Volumen de Lodos en el Sistema de Tratamiento

La tabla presentada a continuación contiene el volumen generado de lodos en cada una de las unidades del tren de tratamiento:

**Tabla 39**

*Volumen de lodos en el Sistema de Tratamiento*

<b>Estructura de la PTAR</b>	<b>Volumen de lodos</b>	<b>Unidades</b>
<b>Floculador</b>	3,78	$m^3$
<b>Sedimentador</b>	4,48	$m^3$
<b>Laguna Anaerobia</b>	721,43	$m^3$
<b>Laguna Facultativa</b>	4427,50	$m^3$
<b>Primera Laguna de Maduración</b>	612,02	$m^3$
<b>Segunda Laguna de Maduración</b>	409,98	$m^3$

*Nota:* Los datos presentados corresponden a los valores correspondientes de volumen de lodos generados para cada una de las estructuras del tren de tratamiento.

### 5.4. Análisis Económico, Técnico y Social del Proyecto

#### 5.4.1. Análisis Económico

Los costos de implementación de la PTAR se determinaron en base al volumen de construcción, en el cual se empleó precios referenciales de la Cámara de la industria de la construcción (2019).

Para el análisis económico se ha tomado a consideración los siguientes costos:

#### a) Costo de implementación

Los valores que se presentaran en la tabla corresponden al costo de la implementación de la planta de tratamiento, la cual esta conformada por un canal de entrada, rejillas, canal Parshall, desarenador, laguna anaerobia, facultativa y dos de maduración, además se incluye el costo de la construcción de un área administrativa y bodega.



Los costos establecidos de construcción pueden variar dependiendo del tipo de materiales, maquinaria, mano de obra entre otros factores.

El presupuesto que se presenta a continuación no incluye el costo de terreno debido a que el GAD de Mulaló ya cuenta con un área disponible para la implementación de un sistema de depuración de sus aguas residuales.

**Tabla 40***Presupuesto de la Planta de Tratamiento*

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	CANTIDAD	TOTAL
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>					
1	Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	1,69	29696,92	<b>50187,79</b>
<b>DESALOJOS</b>					
2	Desalojo a máquina con equipo: (Factor de esponjamiento en movimiento de Tierras) cargadora frontal y volqueta	m3	3,70	57606,07	<b>213142,46</b>
<b>MOVIMIENTOS DE TIERRAS</b>					
3	Excavación H=3 A 4 m A máquina (excavadora) Factor de esponjamiento en movimiento de Tierras	m3	5,81	28803,04	<b>167345,66</b>
<b>RELLENOS</b>					
4	Compactado con suelo natural	m2	6,58	23335,87	<b>153550,02</b>
<b>HORMIGÓN</b>					
5	Hormigón simple muros, F' C= 210 Kg/cm2, no incluye encofrado	m3	137,78	30,45	<b>4195,40</b>
<b>ACERO</b>					
6	Acero de refuerzo FY= 4200 Kg/cm2 14-32 mm con alambre GALV. N°18	kg	1,67	750,2	<b>1252,83</b>
7	Elaboración y colocación de rejillas con varillas de acero inoxidable ø 16 mm	U	482,55	2,00	<b>965,10</b>
<b>METÁLICO</b>					
8	Encofrado/dsencofrado metálico tipo RENTECO alquilado para muro-una cara	m2	6,69	51,80	<b>346,54</b>
<b>CANALIZACIÓN</b>					
9	Excavación de zanjas a máquina en tierra H= 0-2.75 m	m3	3,56	119,13	<b>424,10</b>
10	Tubería PVC u/e 200 mm 1.25 MPA	m	34,46	786,60	<b>27106,24</b>
11	Pozo de revisión HS, INC. Tapa HF	m	184,44	8,00	<b>1475,52</b>
<b>GEOTEXTIL</b>					
12	Instalación de Geomembrana Polietileno 0,5mm	m2	5,91	18551,2	<b>109637,59</b>
<b>OBRA DE EDIFICACIÓN</b>					
13	Construcción administración y bodega	m2	250,00	80,00	<b>20000,00</b>
14	Limpieza final de la obra	m2	1,85	29696,92	<b>54939,30</b>
<b>TOTAL</b>					<b>804568,57</b>

*Nota:* La tabla muestra los costos para cada una de las unidades del tren de tratamiento. Fuente de investigación: Cámara de la industria de la construcción (2019).

## b) Costo del tratamiento

Para calcular el costo del tratamiento se considero el volumen de agua que ingresa al floculador, debido a que en esta estructura se aplicara la dosis optima de coagulante determinado en el laboratorio mediante la prueba de tratabilidad con el uso del sulfato de aluminio que corresponde a 0,2 g/L, además se tomo en cuenta un costo de 0,84 \$/kg valor determinado por un proveedor local.

El volumen de agua en el floculador es de 2,49  $m^3/día$ .

$$Costo = V_d * \$ \text{ coagulante}$$

$$V_d = \text{Volumen diario de agua en el floculador (} m^3/día)$$

$$\$ \text{ coagulante} = \text{costo del coagulante (\$/kg)}$$

**Tabla 41**

*Costo de tratamiento*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costos</b>
<b>Costo/diario</b>	$\$/día$	0,41
<b>Costo/mensual</b>	$\$/mes$	12,54
<b>Costo/<math>m^3</math> (diario)</b>	$\$/m^3$	0,16

*Nota:* La tabla muestra el costo por tratamiento de manera diaria, mensual y por  $m^3$  para todo el proyecto.

El costo de tratamiento por  $m^3$  es de \$0,16 con una dosis de 0,2 g/L del sulfato de aluminio que actua como coagulante.

## c) Costo de operación y mantenimiento

Los costos de operación y mantenimiento dependerán de varios factores, los cuales son de gran importancia debido a que garantizan el adecuado funcionamiento de la planta.

El tiempo influye directamente en la determinación de costos, puesto que la operación y mantenimiento puede ser un trabajo rutinario, con frecuencia diaria, semanal o mensual en las diferentes partes que componen la PTAR.

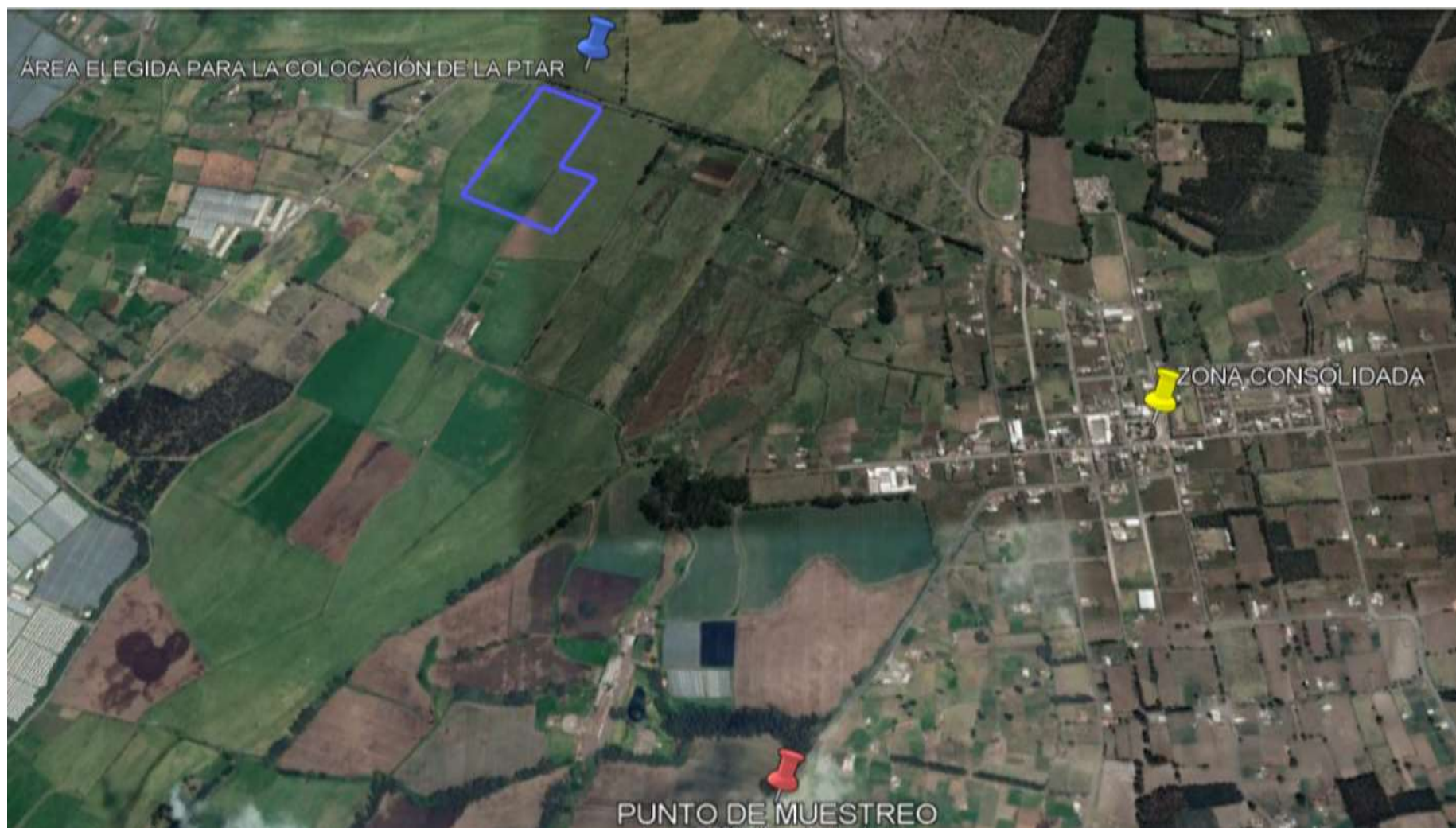
Para asegurar un mantenimiento adecuado y evitar gastos innecesarios es recomendable realizar inspecciones en los sistemas para que los problemas presentados sean corregidos inmediatamente.

#### **5.4.2. *Análisis Técnico***

El área superficial destinada para la construcción del sistema es de aproximadamente 3 Ha, la cual será ubicada de acuerdo al espacio disponible en la Parroquia. Dentro de los costos queda detallado el valor para un replanteo y nivelación topográfico del terreno en el caso de que este sea irregular o accidentado con pendientes muy marcadas.

**Figura 10**

*Ubicación del lugar de implantación del proyecto*



**Nota:** La figura indica la zona consolidada, el lugar del punto de muestreo y el área elegida para la implantación del proyecto.

El sistema de lagunaje utilizado nos ha permitido determinar los siguientes resultados de operación:

**Tabla 42**

*Resultados técnicos del sistema de lagunaje*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Inicial</b>	<b>Valor Post Tratamiento</b>	<b>Valor Normativa (Descarga a efluente de agua dulce)</b>
<b>DBO<sub>5</sub></b>	<i>mg/L</i>	503	11,68	100
<b>Coliformes fecales</b>	<i>NMP /100mL</i>	9,2 X10 <sup>10</sup>	1625,09	2000

*Nota:* La tabla indica los resultados obtenidos mostrando que los mismo estén bajo los valores de la normativa de descarga a efluente de agua dulce.

Estos valores que corresponden al resultado final del efluente cumplen con los límites máximos permisibles especificados en el Acuerdo Ministerial 097-A. Texto Unificado de Legislación Ambiental, Libro VI, Anexo I para descarga a un cuerpo de agua dulce.

### **5.4.3 Análisis Social**

La construcción de esta alternativa de tratamiento fue aceptada por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado de Mulaló, quienes estuvieron siempre predispuestos a colaborar en el desarrollo de este proyecto y nosotros aportamos con los conocimientos adquiridos durante nuestro periodo como estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental.

Este tipo de proyectos son de gran importancia para la sociedad y este estudio no es la excepción, la zona en la cual se trabajó contaba con una PTAR la cual no fue diseñada con la capacidad suficiente para la demanda de habitantes existentes, la misma que terminó sobresaturándose y quedando fuera de servicio.

## **a) Socialización del Proyecto**

La comunicación con los directivos del GAD de Mulaló fue constante y hubo el interés pertinente para la ejecución del proyecto, el cual se dio a conocer mediante una primera socialización en la que se expuso cada una de las actividades a realizar para el dimensionamiento de la PTAR que beneficiara en la depuración de sus aguas residuales domésticas.

Las reuniones posteriores que se realizaron fueron con el fin de mantenerlos informados del avance del proyecto.

La socialización final se la programo con las autoridades acargo de la junta de agua de la parroquia, quienes quedaron satisfechos con la labor realizada en cuanto al diseño de la planta, debido a que es una necesidad que presentan en la actualidad. La propuesta presentada sera analizada para su posterior exposición ante el Municipio de Latacunga para su ejecución.

## **5.5. Discusión**

El presente estudio se lo realizo en la parroquia de Mulaló, y tuvo como objetivo determinar las unidades de un sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales, a partir de los análisis de calidad de agua realizados.

Los resultados obtenidos al final de la de la investigación satisfacen las necesidades de la parroquia, debido a que cumplen con las normas de descarga a un efluente de agua dulce según la normativa vigente en el país, al igual que lo expuesto por autores como Valencia (2013) y Bunces (2014), quienes plantean la misma alternativa pero en diferentes comunidades tomando en cuenta la referencia bibliográfica para el diseño de Plantas de Tratamiento como son Cortés et al. (2017) y Romero (2010).

Según lo presentado por Gonzáles (2016) la relacion nitrogeno fosforo es primordial en proceso de crecimiento bacteriano ya que estos datos deben estar dentro del rango para que

puedan cumplir su ciclo y no exista falta de oxígeno, lo que conlleva a la eutrofización que disminuirán la eficiencia del funcionamiento de las lagunas.

La remoción de  $DBO_5$  y coliformes fecales con la alternativa utilizada en este proyecto que es la implementación de lagunas, permite la descarga de agua de buena calidad a una fuente de agua dulce, que en este caso es el Río Cutuchi.

El pretratamiento y tratamiento primario fue adecuado en apoyo al sistema de lagunaje para que su operación sea más efectiva, de igual manera en este caso se trabajó con parámetros establecidos teóricamente por Romero (2010).



## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

Como resultado del proyecto se dimensiono una planta de tratamiento de aguas residuales conformado por rejillas, desarenador, floculador, sedimentador y un canal Parshall, el cual va conectado a un sistema de lagunaje, dicha estructura está diseñada con una proyección de 25 años, la cual favorecerá a 5 barrios y una lotización de la parroquia Mulaló.

Los análisis realizados de la muestra de aguas residuales domesticas de la parroquia nos permitió determinar la calidad de agua y en base a los resultados obtenidos se realizó el dimensionamiento para obtener una eficiencia en la remoción de contaminantes en las unidades de tratamiento cumpliendo con los requerimientos establecidos en la normativa ambiental vigente para su posterior descarga a un efluente de agua dulce.

En cuanto a la evaluación económica se considera que el proyecto está valorado en \$ 804568,57 para su implementación, el cual será financiado por las autoridades del GAD de la parroquia Mulaló en conjunto con la Municipalidad de Latacunga en bien de la comunidad.

Técnicamente la construcción de la planta es aceptable debido a que cuentan con la disponibilidad de área (3 Ha) y el sistema planteado para la depuración de aguas residuales cumple con la eficiencia en la remoción de contaminantes.

La sociedad cumple un rol muy importante en la toma de decisiones en la implementación de proyectos que contribuyen a mejorar la calidad de vida, reduciendo los daños ambientales producidos por el aumento constante de la población.

## **6.2.Recomendaciones**

Antes de la construcción se debe realizar un replanteo y nivelación del terreno para la correcta ubicación de las estructuras.

En caso de que sea implementada se debe realizar mantenimientos preventivos para evitar daños futuros en cualquiera de sus unidades y asegurar la eficiencia de la misma.

Al ser una zona agrícola se recomienda el uso del agua tratada para el riego, debido a que esta aportará con distintos nutrientes que favorecerá al enriquecimiento del suelo.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, A. S. (2006). *Agua: Un recurso escaso*. Sevilla: ArCiBel Editores.
- Bunces, D. (2014). *Planteamiento de alternativas para la selección de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales para la Ciudad de Francisco de Orellana (Coca)*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Cámara de la industria de la construcción. (2019). Boletín de precios, Construcción.
- Campos, I. (2003). *Saneamiento Ambiental* (Primera ed.). Costa Rica: EUNED Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Castro, C. D. (2007). *Manual para la gestión de vertidos*. Madrid: Fareso, S. A.
- Constitución del Ecuador . (2008). Ecuador.
- Cortés , F., Treviño , A., & Tomasini, A. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*. México: IMTA. Obtenido de [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- Córtés , F., Treviño , A., & Tomasisni, A. C. (2017). *Dimensionaminto de lagunas de estabilización* (Primera ed.). México: Instituto México de Tecnología del Agua.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Bogotá: Mc Graw-Hill.
- Espigares, M., & Pérez, J. (1985). *Aguas Residuales Composición*. Granada: Universidad de Granada Servicio de Publicaciones.
- Fonfria, R. S., & Ribas, J. (1989). *Ingeniería Ambiental: Contaminación y tratamientos*. (1 ed.). Barcelona: Marcombo Boixareu Editores.

- GAD Parroquia Rural de Mulaló. (2014). *DATOS GENERALES*. Cotopaxi: ILION SYSTEMS.  
Obtenido de <http://mulalo.gob.ec/cotopaxi/?p=81>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Mulaló. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Latacunga.
- Gobierno Autónomo y Descentralizado Parroquial Rural San Francisco de Mulaló. (2014). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial de La Parroquia San Francisco De Mulaló*.
- González, E. (2016). *Comportamiento de las lagunas de estabilización*. Cuba.
- INAMHI. (2019). *Red de Estaciones Automáticas Hidrometeorológicas*. Obtenido de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología: <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de Estadísticas: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A. Texto Unificado de Legislación Ambiental, Libro VI, Anexo I. Quito. Obtenido de <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- Municipalidad de Latacunga. (2004). *ORDENANZA 54: Ordenanza para la prevención y control de la contaminación de desechos industriales, de servicio y otros de carácter tóxico y peligroso generados por fuentes fijas del cantón Latacunga*. Latacunga.
- Romero, J. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño* (Tercera ed.). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Secretaría del Agua. CO 10.07-601. (2011). *Norma para el estudio y diseño de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Quito.

Obtenido de [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_disenos.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf)

Secretaria del Agua. Norma CO 10.7-602-Revisión. (2013). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Quito. Obtenido de [https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_rural\\_para\\_estudios\\_y\\_disenos.pdf](https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_rural_para_estudios_y_disenos.pdf)

Sistema Nacional de Información. (2010). *Proyecciones y estudios demográficos*. Obtenido de Proyecciones referenciales de población nivel parroquial 2010-2020: <https://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>

Valdez, E. C., & Vásquez, A. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. México D. F.: Fundacion ICA.

Valencia, A. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

WWAP Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO. (2019). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. Paris: UNESCO.

WWAP Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos/ONU-Agua. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones Basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. Paris: UNESCO.

Yáñez, F. (1993). *Lagunas de Estabilización. Teoría diseño y mantenimiento*.

## 8. ANEXOS

### *Anexo 1. Socialización con los representantes del GAD de Mulaló*



### *Anexo 2. Respaldo de asistencia a la socialización*



**Anexo 3.** Cierre de la socialización



**Anexo 4.** Punto de muestreo



**Anexo 5.** Toma de la muestra de agua residual



**Anexo 6.** Medición de los parámetros in situ





**Anexo 7. Análisis de sólidos sedimentables**



**Anexo 8. Prueba de tratabilidad**



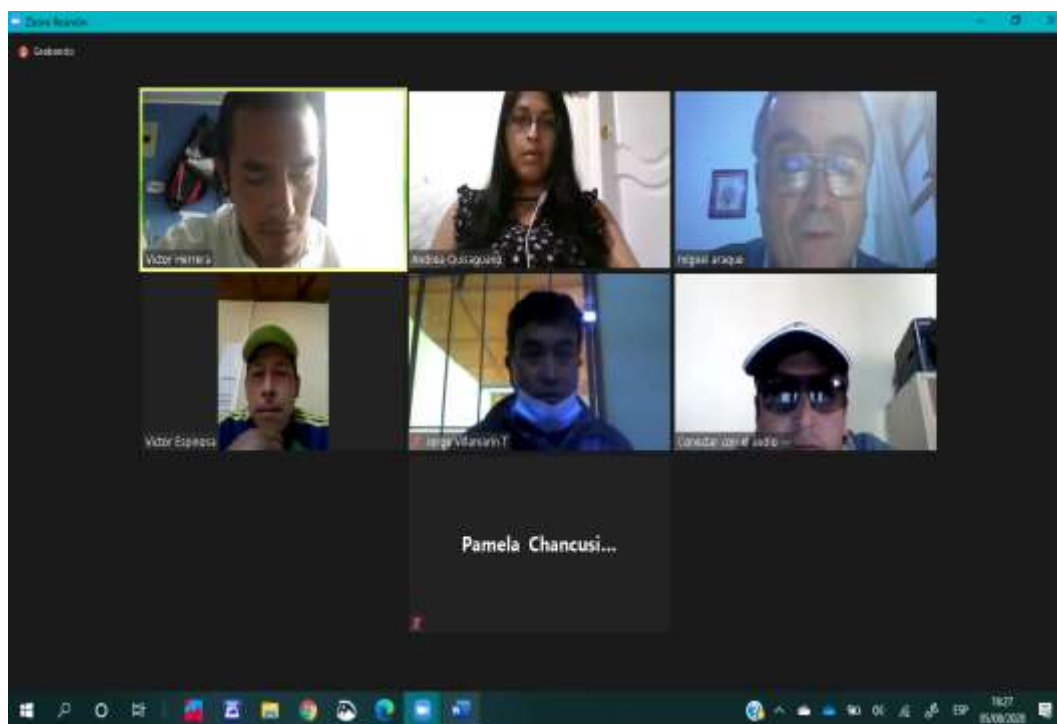
**Anexo 9 .Determinación de la dosis de coagulante**



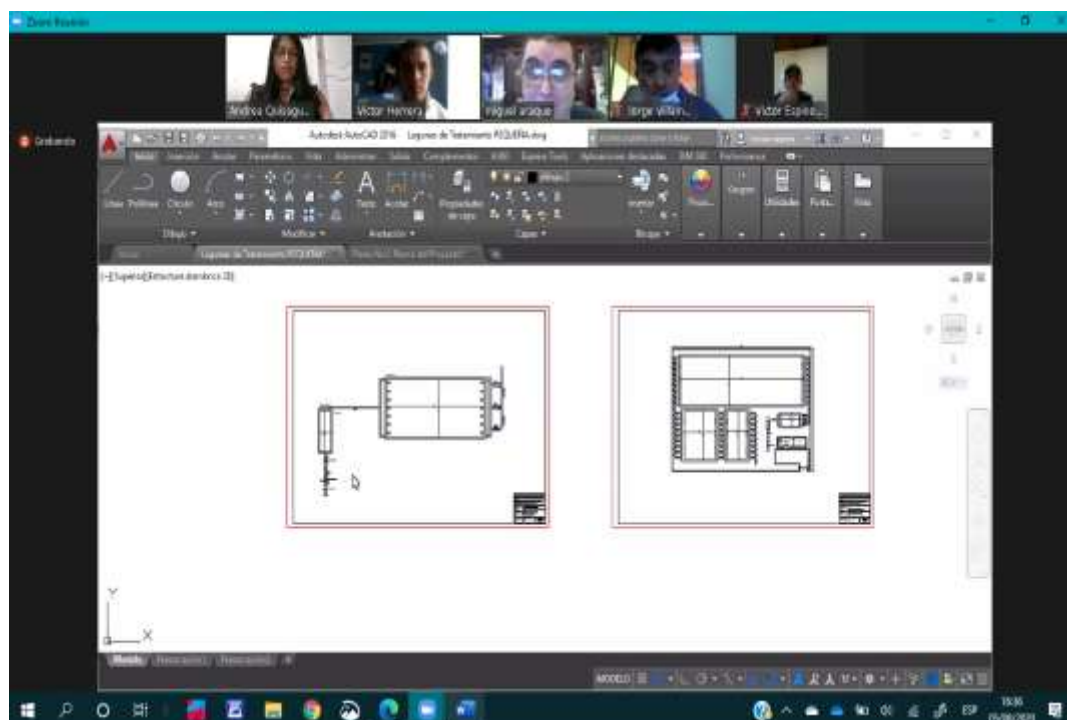
**Anexo 10. Presentación de la estructura de la PTAR a los directivos del GAD**



Anexo 11. Socialización virtual con los representantes del GAD de Mulaló



Anexo 12. Presentación de los planos finalizados de la PTAR



Anexo 13. Informe de resultado de microbiología de agua residual



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS  
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA  
INFORME DE RESULTADOS

INF. LAB. MI 39419  
ORDEN DE TRABAJO No. 63283

SOLICITADO POR:<sup>3</sup> HERRERA VICTOR  
DIRECCIÓN DEL CLIENTE:<sup>3</sup> CIUDADELA QUITUMBE  
MUESTRA DE:<sup>3</sup> AGUA  
DESCRIPCIÓN:<sup>3</sup> AGUA RESIDUAL  
LOTE: —  
FECHA DE ELABORACIÓN: —  
FECHA DE VENCIMIENTO: —  
FECHA DE RECEPCIÓN: 05/03/2020  
HORA DE RECEPCIÓN: 15H57  
FECHA DE ANÁLISIS: 06/03/2020  
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARÍA: 20/04/2020  
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA  
COLOR: CARACTERÍSTICO  
OLOR: CARACTERÍSTICO  
ESTADO: LÍQUIDO  
CONTENIDO: 200ml  
OBSERVACIONES: LOS RESULTADOS QUE CONSTAN EN EL PRESENTE INFORME SE REFIEREN A LA MUESTRA ENTREGADA POR EL CLIENTE AL OSP.  
MUESTREO POR: EL CLIENTE

INFORME

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO
INDICE DE COLIFORMES TOTALES	NMP/100 ml	$9.2 \times 10^{10}$	MMI-11/SM 9221-B MODIFICADO
INDICE DE COLIFORMES FECALES	NMP/100 ml	$5.4 \times 10^8$	MMI-12/SM 9221-E MODIFICADO

DATOS ADICIONALES:

NMP/100ml: Número mas probable de coliformes por 100 mililitro

3: DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE Y DE SU RESPONSABILIDAD.



Servicio de  
Acreditación  
Ecuatoriano

Acreditación N° OAE LE 1C 04-002, LABORATORIO DE ENSAYOS

Los ensayos marcados con ( \* ) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE"


B.F. MAGALY CHASI – Mgtr.  
RESPONSABLE AREA MICROBIOLOGIA



1 / 1

R-GC-01-25

Anexo 14. Informe de resultados de análisis químico de agua residual



**LABOLAB**  
ANÁLISIS DE ALIMENTOS, AGUAS Y AFINES  
INFORME DE RESULTADOS

Orden de trabajo N° 202029  
Informe N° 202029  
Hoja 1 de 1

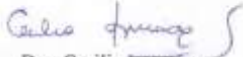
**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

Nombre:	Andrea Quinsiguano
Dirección:	Chillogallo
Muestra:	Agua residual
Descripción de la muestra:	Líquido turbio ligeramente amarillo
Fecha Elaboración:	---
Fecha Vencimiento:	---
Fecha de Toma:	16 de junio del 2020
Lote:	---
Localización:	Parroquia Mulaló
Envase:	PET
Conservación de la muestra:	Ambiente

**DATOS DEL LABORATORIO**


Fecha de recepción:	19 de junio del 2020
Toma de muestra por:	Cliente
Fecha de realización del ensayo:	19 – 26 de junio del 2020
Fecha de emisión del informe:	26 de junio del 2020
Condiciones ambientales:	24°C 54%HR

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADOS
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	Standard Methods 5220 D	584
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	Standard Methods 5210 B	503
Nitratos	mg/l	Standard Methods 4500-NO <sub>3</sub> -D	< 1,00
Nitritos	mg/l	Standard Methods 4500 NO <sub>2</sub> -B	0,09
Fósforo	mg/l	Standard Methods 4500 P-C	34,03



Dra. Cecilia Luzuriaga  
GERENTE GENERAL

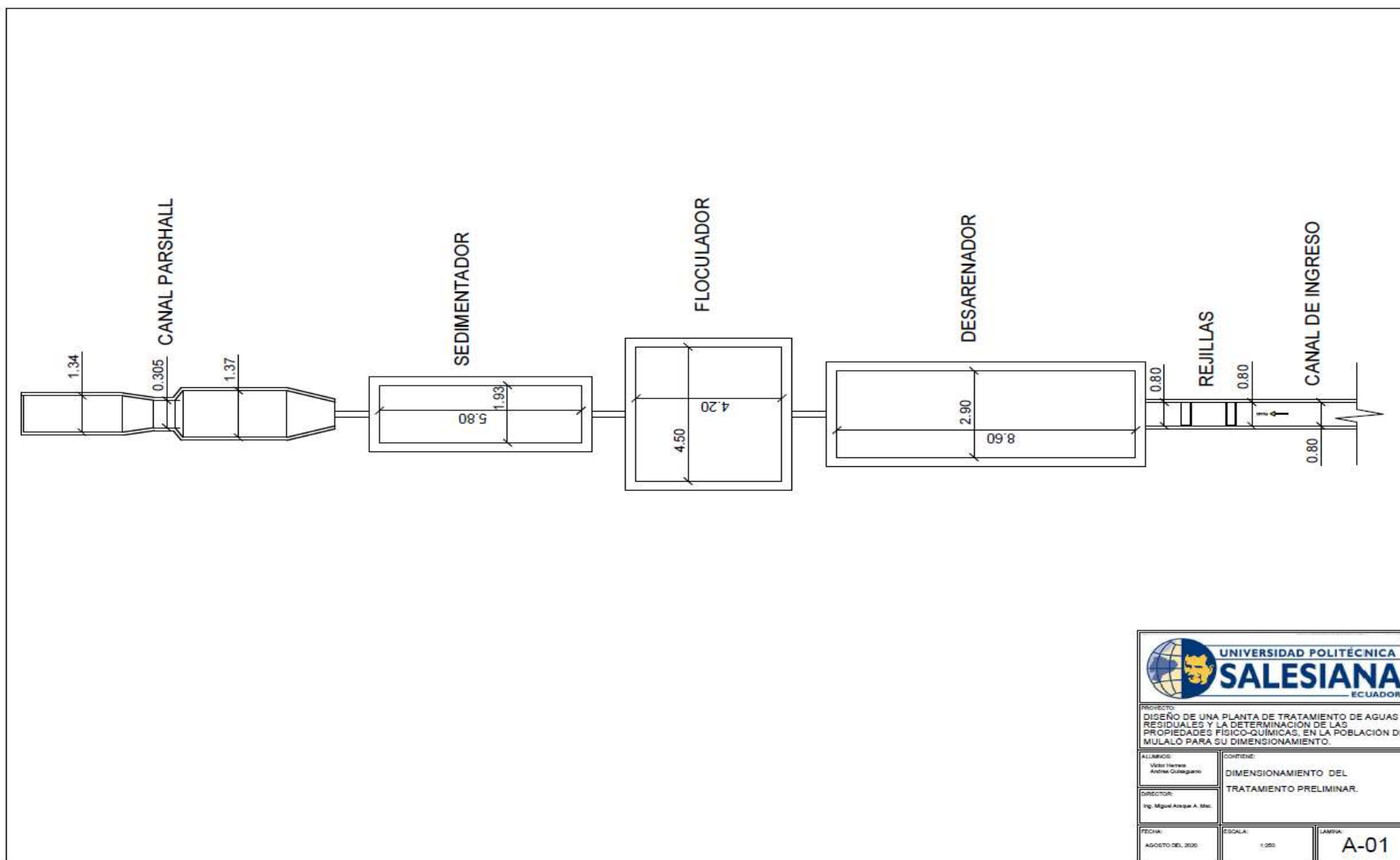
El presente informe solo es válido para la muestra analizada tal como fue recibida en LABOLAB.  
LABOLAB no se responsabiliza por los datos proporcionados por el cliente.  
Este informe no debe reproducirse más que en su totalidad previa autorización, escrita de LABOLAB.  
Las opiniones e interpretaciones no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.



**LABOLAB**  
ANÁLISIS DE ALIMENTOS, AGUAS Y AFINES

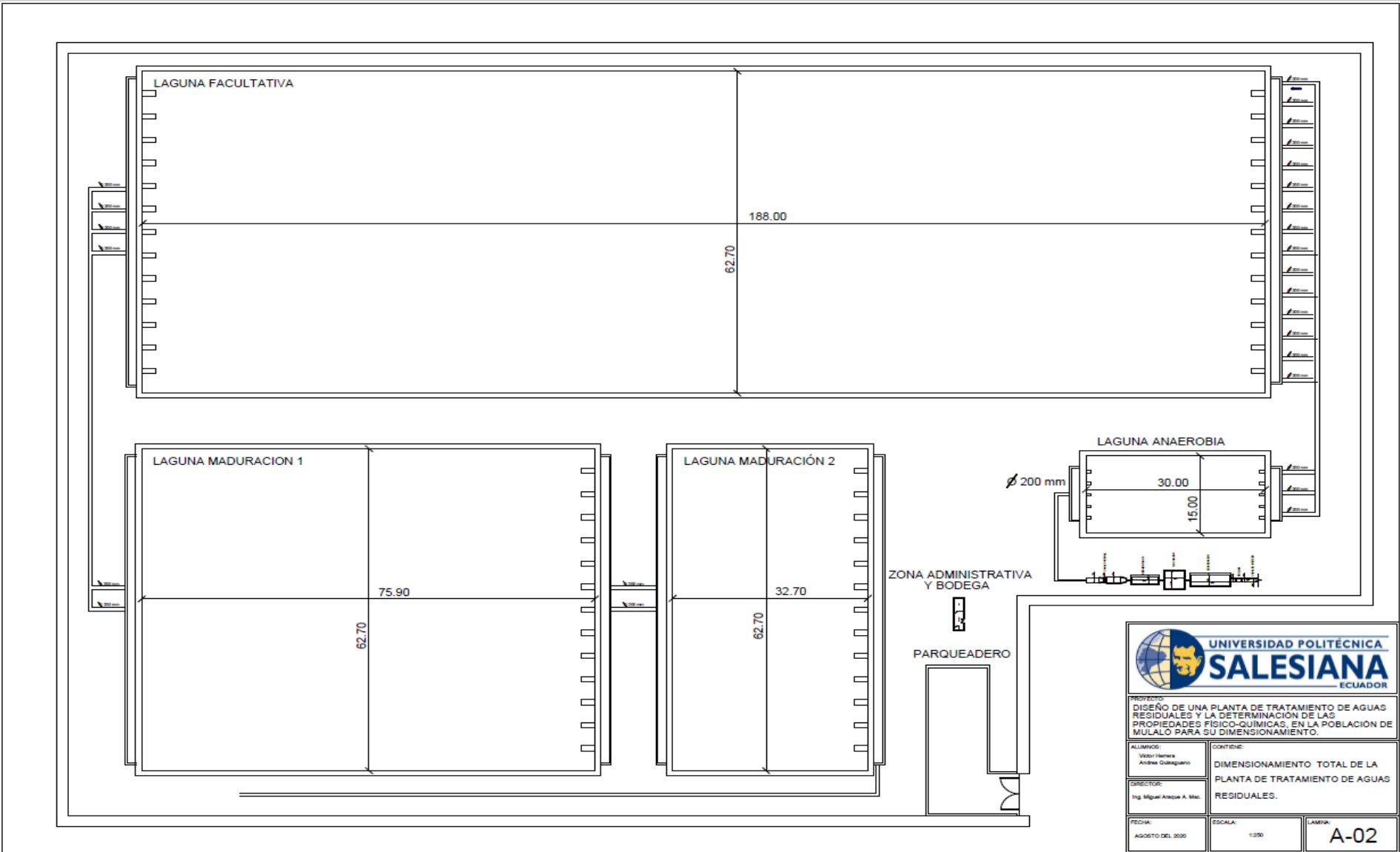
**INFORME TÉCNICO, FICHA DE ESTABILIDAD, INFORMACIÓN NUTRICIONAL PARA NOTIFICACION SANITARIA**  
Análisis físico, químico, microbiológico, entomológico de: alimentos, aguas, bebidas, materias primas, balanceados, cosméticos, pesticidas, suelos, metales pesados y otros  
Fco. Andrade Marín E7-29 y Diego de Almagro Telf.: 2583-225 / 2561-350 / 3228-803/ 3238-504 Cel.: 099 999 0412 / 099 944 2153 / 099 700 1591  
E-mails: secretaria@labolab.com.ec / servicioalcliente@labolab.com.ec / cecilia.luzuriaga@labolab.com.ec / informes@labolab.com.ec  
[www.labolab.com.ec](http://www.labolab.com.ec) Quito - Ecuador

Anexo 15. Plano de las unidades del pre-tratamiento de la PTAR

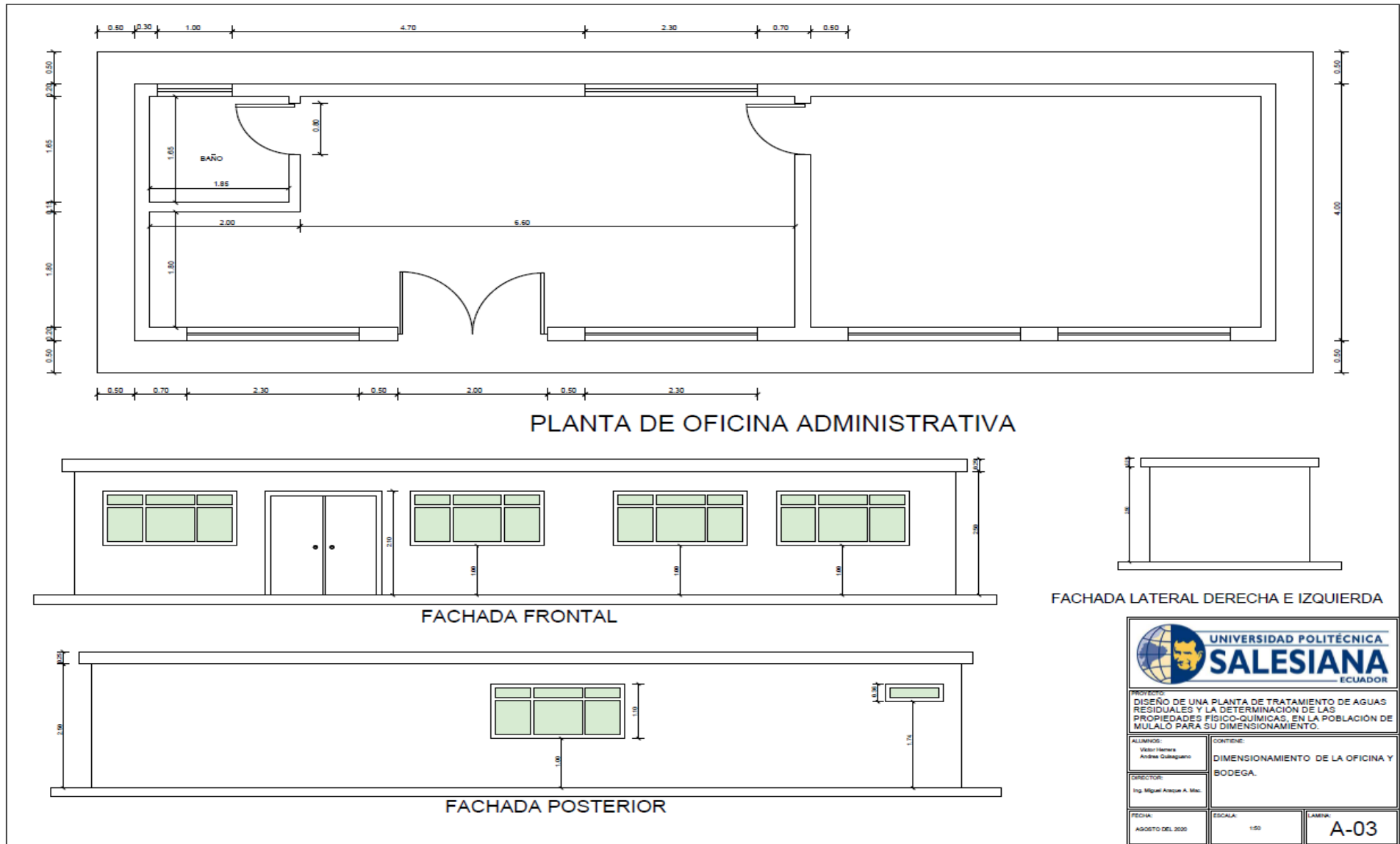


 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> ECUADOR		
<b>PROYECTO:</b> DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, EN LA POBLACION DE MULALO PARA SU DIMENSIONAMIENTO.		
<b>ALUMNOS:</b> Víctor Herrera Andrei Gualegano	<b>CONTIENE:</b> DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO PRELIMINAR.	
<b>DIRECTOR:</b> Ing. Miguel Anquez A. Msc.		
<b>FECHA:</b> AGOSTO DEL 2020	<b>ESCALA:</b> 1:200	<b>LÁMINA:</b> A-01

Anexo 16. Plano completo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Anexo 17. Detalles de la oficina administrativa y bodega



		
<b>PROYECTO:</b> DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, EN LA POBLACIÓN DE MULALO PARA SU DIMENSIONAMIENTO.		
<b>ALUMNOS:</b> Víctor Herrera Andrés Calaguanco	<b>CONTIENE:</b> DIMENSIONAMIENTO DE LA OFICINA Y BODEGA.	
<b>DIRECTOR:</b> Ing. Miguel Aníbal A. Miro	<b>FECHA:</b> AGOSTO DEL 2020	<b>ESCALA:</b> 1:50
		<b>LÁMINA:</b> A-03