

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERAS AMBIENTALES**

**TEMA:**

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

**AUTORAS:**

**JESSICA XIMENA ANDRADE MOLINA**

**VIVIANA ESTEFANIA CARRASCO CANDO**

**TUTOR:**

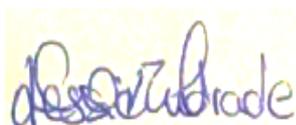
**EDUARDO ALBERTO MIGUEL ARAQUE ARELLANO**

**Quito, septiembre del 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

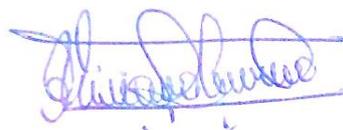
Nosotras Jessica Ximena Andrade Molina con documento de identificación N° 172728889-4 y Viviana Estefania Carrasco Cando con documento de identificación N° 180503868-2 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras 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 PASTOCALLE PARA SU DIMENSIONAMIENTO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERAS 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 autoras nos reservamos los derechos morales de la obra anteriormente 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.



Jessica Ximena Andrade Molina

172728889-4



Viviana Estefania Carrasco Cando

180503868-2

Quito, septiembre 2021

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro 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 PASTOCALLE PARA SU DIMENSIONAMIENTO realizado por Jessica Ximena Andrade Molina y Viviana Estefania Carrasco Cando, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2021



Eduardo Alberto Miguel Araque Arellano

170725309-0

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi padre Ramiro y mi madre Yolanda quienes han sido un pilar fundamental en este proceso académico, a pesar de cualquier circunstancia me han brindado su apoyo incondicional en cada paso, por ser mi ejemplo de fortaleza y perseverancia; a mis hermanos Rolando, Marco, Pablo y Daniela por su motivación para esforzarme día a día. A mi sobrino Daniel que llegó a nuestra vida a alegrarnos un poquito más. A cada uno de mis familiares que de una u otra manera han estado presentes con su ayuda y cariño. A mis amigos que la vida universitaria me regaló, y a aquellos que me han acompañado desde muchos años atrás.

Gratitud siempre a cada uno que ha sido el motivo y motor para culminar esta etapa en mi vida. Lo logramos.

**Jessica Andrade M.**

Y con mucho orgullo y agradecimiento yo Viviana Estefanía Carrasco Cando dedico este logro a mis amados padres Marco y Victoria quienes con su ejemplo de responsabilidad, trabajo y honradez supieron guiar cada uno de mis pasos, por sus sabios consejos, por ser mi motor y apoyarme en cada paso, por la confianza depositada en mi persona para enviarme a otra provincia a estudiar para lograr esta tan anhelada meta.

A mis hermanos Diana, Fernando, Angela y Omar por el apoyo brindado, en especial a mi primera hermana Diana quien fue como mi segunda madre, quien me daba palabras de aliento en días complejos.

Y como no a una segunda familia que se encuentra en la vida universitaria, mis amigos. Karina L., quien estuvo en las buenas y malas y no se diga en las peores, con quien compartí momentos llenos de felicidad y de tristeza, una persona incondicional, de quien me quedo agradecida eternamente. Evelyn, Andrés, Nathali, Danilo, Anita, Ronald, Eri, Mauri, quienes han sido personas maravillosas, que nos hemos apoyado mutuamente, y que no me queda más que desearles grandes triunfos y éxitos tanto en la vida personal y profesional.

**Viviana Carrasco**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quiero agradecer a Dios por cuidarme en cada momento de mi vida; ser mi guía, fortaleza, y luz en cada adversidad.

A mi familia por estar siempre pendiente y brindarme el apoyo y palabras de aliento para poder culminar este proceso.

Agradezco a mi director del trabajo experimental, Miguel Araque que ha estado apoyándome desde el primer momento, con sus conocimientos, paciencia y dirección en todo el desarrollo de este estudio.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a cada uno de los docentes que han sido parte de mi vida universitaria, gracias por cada aporte brindado.

Al GAD parroquial de Pastocalle por aceptar la propuesta del trabajo experimental y brindarnos todo el apoyo para llevarlo a cabo.

**Jessica Andrade M.**

Quiero agradecer primero a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí hoy, por darme fuerza, salud y cuidar de mí todo el tiempo que viví fuera del hogar de mis padres, para llevar a cabo mis metas y objetivos. Quiero darle las gracias por su amor infinito.

A la Universidad Politécnica Salesiana, la cual tiene super clara su misión, formar grandes profesionales enfocados al servicio de la sociedad.

Al GAD de la Parroquia San Juan de Pastocalle por permitirnos realizar el trabajo en su jurisdicción.

A mi querido docente tutor Mcs. Eduardo Alberto Miguel Araque Arellano, quien nos guio con su paciencia y conocimiento en este arduo trabajo para culminarlo de una manera exitosa.

A todos los docentes que forman parte de la carrera de Ingeniería Ambiental de la UPS, por su esfuerzo diario para transmitir de la mejor manera sus conocimientos a todos sus alumnos.

Y finalmente agradecer a mi novio Darío, quien también fue un pilar fundamental en todo este proceso, gracias por tus palabras de aliento y de motivación para no decaer cuando las cosas se ponían difíciles.

**Viviana Carrasco**

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problema .....	1
1.2 Delimitación.....	1
1.3 Pregunta de Investigación .....	1
1.4 Objetivos .....	2
1.4.1 Objetivo General.....	2
1.4.2 Objetivos Específicos.....	2
1.5 Hipótesis .....	2
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Línea Base.....	3
2.1.1 Ubicación de la Zona del Proyecto .....	3
2.1.2 Componentes del Medio Físico .....	3
2.1.3 Componentes del Medio Biótico .....	6
2.1.4 Componente Sociocultural.....	7
2.1.5 Componente Económico .....	7
2.2 Agua.....	8
2.2.1 Contaminación de Aguas .....	8
2.2.2 Fuentes de Contaminación.....	8
2.2.3 Principales Contaminantes del Agua .....	9
2.3 Agua Residual.....	10
2.3.1 Tipos de Agua Residual.....	10

2.4 Características del Agua Residual .....	11
2.4.1 Características Físicas .....	11
2.4.2 Características Químicas.....	13
2.4.3 Características Biológicas.....	16
2.5 Tipos de Tratamientos de las Aguas Residuales.....	18
2.5.1 Tratamiento Primario .....	18
2.5.2 Tratamiento Secundario .....	20
2.5.3 Tratamiento Terciario .....	21
2.6 Tren de Tratamiento de Aguas Residuales .....	22
2.7 Marco Legal.....	24
2.7.1 Constitución de la Republica de Ecuador .....	24
2.7.2 Ley Orgánica de la Salud.....	26
2.7.3 Código Orgánico del Ambiente .....	26
2.7.4 Acuerdo Ministerial 061. ....	27
2.7.5 Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua.....	27
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 Descripción General de la Zona.....	31
3.2 Ubicación .....	33
3.3 Plan de Muestreo.....	33
3.3.1 Técnicas de Tomas de Muestras .....	34
3.3.2 Procedimiento para la Toma de Muestras.....	34

3.4 Parámetros Analizados.....	37
3.4.1 Parámetros In situ .....	37
3.4.2 Parámetros Físico-Químicos.....	40
3.5 Determinación del Método .....	45
3.6 Parámetros de Construcción .....	46
3.6.1 Pretratamiento .....	47
3.6.2 Lagunas de Estabilización.....	47
3.7 Cálculos y Diseño .....	48
3.7.1 Dosis Óptima de Coagulante .....	48
3.8 Porcentaje de Remoción .....	48
3.9 Cálculo De La Población Futura.....	49
3.10 Cálculo De Caudal de Diseño .....	49
3.11 Pretratamiento .....	50
3.11.1 Cálculo de la Criba.....	50
3.12 Diseño del Sistema de Lagunas .....	51
3.12.1 Laguna Anaeróbica .....	51
3.12.2 Diseño de la Laguna Facultativa.....	58
3.12.3 Diseño de la Primera Laguna de Maduración.....	62
3.12.4 Diseño de la Segunda Laguna de Maduración.....	66
3.13 Análisis Económico y Técnico .....	70
3.13.1 Costos de Inversión.....	70

3.13.2 Costo de agua tratada por metro cúbico.....	72
3.13.3 Análisis Social .....	73
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>74</b>
4.1 Resultados .....	74
4.1.1 Parámetros in situ.....	74
4.1.2 Parámetros Químicos .....	74
4.1.3 Parámetros Microbiológicos .....	75
4.1.4 Sólidos en el Agua .....	76
4.1.5 Prueba de Jarras .....	77
4.1.6 Pretratamiento .....	78
4.1.7 Sistema de Lagunaje .....	78
4.2 Discusión.....	81
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
5.1 Conclusiones .....	84
5.2 Recomendaciones .....	84
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>86</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Rangos isotermos, parroquia San Juan de Pastocalle .....	5
<b>Tabla 2</b>	Rangos precipitaciones isoyetas .....	6
<b>Tabla 3</b>	Clasificación de dureza en el agua.....	13
<b>Tabla 4</b>	Efectos causados por concentraciones de oxígeno disuelto en las especies ..	15
<b>Tabla 5</b>	Condiciones para los diversos procesos de flotación en el agua residual.....	19
<b>Tabla 6</b>	Enfermedades producidas por microorganismos en agua residual .....	22
<b>Tabla 7</b>	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	28
<b>Tabla 8</b>	Requerimiento para la toma de muestras .....	35
<b>Tabla 9</b>	Materiales y equipos para la medición de temperatura.....	38
<b>Tabla 10</b>	Materiales y equipos para la medición de pH.....	38
<b>Tabla 11</b>	Materiales y equipos para la medición de la turbidez.....	39
<b>Tabla 12</b>	Materiales y equipos para la medición de oxígeno disuelto .....	39
<b>Tabla 13</b>	Equipos, reactivos y materiales para determinar sólidos totales.....	40
<b>Tabla 14</b>	Equipos, reactivos y materiales para determinar sólidos sedimentables .....	42
<b>Tabla 15</b>	Materiales, reactivos y equipos para la realización de prueba de jarras .....	43
<b>Tabla 16</b>	Descripción de la formación de flóculos .....	45
<b>Tabla 17</b>	Relación DQO/DBO .....	46
<b>Tabla 18</b>	Características de los barrotos.....	51
<b>Tabla 19</b>	Datos de remoción de DBO5 en lagunas anaerobias .....	54
<b>Tabla 20</b>	Costos de inversión .....	71
<b>Tabla 21</b>	Resultados in situ .....	74

<b>Tabla 22</b> Resultados de parámetros químicos.....	75
<b>Tabla 23</b> Resultados de los parámetros microbiológicos.....	76
<b>Tabla 24</b> Resultados de sólidos totales en el AR.....	76
<b>Tabla 25</b> Resultados de sólidos sedimentables en el AR.....	77
<b>Tabla 26</b> Resultados de la prueba de jarras.....	77
<b>Tabla 27</b> Resultados del diseño de la criba.....	78
<b>Tabla 28</b> Resultados del Diseño de la laguna anaerobia.....	79
<b>Tabla 29</b> Resultados del diseño de la laguna facultativa.....	79
<b>Tabla 30</b> Resultados del diseño de la primera laguna de maduración.....	80
<b>Tabla 31</b> Resultados del diseño de la segunda laguna de maduración.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Identificación según su cultura y costumbre .....	7
<b>Figura 2</b> Tren de tratamientos de aguas residual .....	23
<b>Figura 3</b> Zona de estudio .....	31
<b>Figura 4</b> Mapa de ubicación de la parroquia San Juan de Pastocalle .....	32
<b>Figura 5</b> Ubicación de la PTAR.....	33
<b>Figura 6</b> Porcentaje de remoción VS Concentración de coagulante.....	78

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Mapa de pendientes de la parroquia de Pastocalle.....	92
<b>Anexo 2</b> Mapa de taxonomía de suelos de la parroquia de Pastocalle .....	93
<b>Anexo 3</b> Mapa de la temperatura de la parroquia Pastocalle.....	94
<b>Anexo 4</b> Mapa de la precipitación de la parroquia de Pastocalle .....	95
<b>Anexo 5</b> Parroquia San Juan de Pastocalle.....	96
<b>Anexo 6</b> Socialización inicial del proyecto .....	97
<b>Anexo 7</b> Toma de muestras para su análisis.....	98
<b>Anexo 8</b> Medición de parámetros in situ .....	99
<b>Anexo 9</b> Transporte de muestras .....	100
<b>Anexo 10</b> Análisis de los sólidos.....	101
<b>Anexo 11</b> Prueba de jarras.....	102
<b>Anexo 12</b> Socialización final del proyecto.....	103
<b>Anexo 13</b> Solicitud de la socialización inicial.....	104
<b>Anexo 14</b> Solicitud de la socialización final .....	105
<b>Anexo 15</b> Resultado de los análisis físicos químicos .....	106
<b>Anexo 16</b> Resultado del análisis microbiológico .....	107
<b>Anexo 17</b> Plano de la planta de tratamiento de aguas residuales .....	108
<b>Anexo 18</b> Pretratamiento de la planta de tratamiento de agua residual.....	109
<b>Anexo 19</b> Plano del pretratamiento y el inicio del sistema de lagunaje .....	110
<b>Anexo 20</b> Plano de la laguna de maduración 2 y la entrada a la PTAR .....	110

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y la determinación de las propiedades fisicoquímicas en la población de Pastocalle para su dimensionamiento” se encuentra orientado a la Ingeniería Ambiental cuya finalidad es diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Juan de Pastocalle ubicada en la provincia de Cotopaxi.

Con este estudio se busca brindar una alternativa sostenible para el tratamiento de las aguas residuales que se generan en la zona central de la parroquia, reduciendo la contaminación ambiental a otros cuerpos de agua y asegurando el tratamiento correcto previo a su descarga.

Para la determinación del método correcto se calculó el índice de biodegradabilidad obteniendo un valor de 1,4574; es decir, que se realizó un tratamiento secundario, y se analizaron varios parámetros necesarios para el diseño. El tratamiento se compone de dos partes, como pretratamiento tenemos a un sistema de cribado el cual está conectado a la segunda parte que es un sistema de lagunaje que consta de una laguna anaerobia, una laguna facultativa y dos lagunas de maduración. Obteniendo reducir notablemente la DBO5 inicial a 6,76 mg/L.

Además, se realizó un análisis técnico, social y económico, para determinar costos directos e indirectos para la construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, y también se calculó el costo por metro cúbico de agua tratada.

**Palabras claves:** Agua residual, planta de tratamiento, alternativa sostenible, análisis técnico, análisis social, análisis económico.

## ABSTRACT

In the presented entitled research “Design of a sewage water treatment plant and the physical-chemical properties determination in the parish Pastocalle for its dimensioning” it is focused on environmental engineering which purpose is to design a sewage treatment plants to the parish San Juan de Pastocalle located in the Cotopaxi province.

This study aims to provide a sustainable alternative for the sewage treatment plants which are found in the central area of the named parish. It will be done through reducing environmental pollution to other water bodies and ensuring a proper treatment before pour the water.

To determine the correct method, the biodegradability index was calculated, it was obtained a value of 1.4574; that is, a second treatment was carried out, and several necessary parameters for the design were analyzed in the same way. The treatment is composed by two parts, a screening system which is connected as a pretreatment one which in turn is connected to the second part, which is a logon system that consists of an anaerobic lagoon, a facultative lagoon and two maturation ponds. A notable reduction of the initial DB05 to 6.76 mg/ L was obtained.

Furthermore, a technical, social and economic analysis was carried out to determine two kind of costs, direct and indirect for the construction, operation, and maintenance of the treatment plant, besides the per cubic meter of treated water was calculated similarly.

**Key words:** sewage water, treatment plant, sustainable alternative, technical analysis, social analysis, economic analysis.

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial de Hidrógeno
OD	Oxígeno Disuelto
T	Temperatura
NTU	Unidad Nefelométrica de Turbidez
ST	Sólidos Totales
SSed	Sólidos Sedimentables
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
COA	Código Orgánico del Ambiente
PEA	Población Económicamente Activa
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
TULAS	Texto unificado de Legislación Ambiental secundario
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
mg	Miligramos
mL	Mililitro
V	Volumen
g	Gramos
hab	Habitante
ha	Hectárea

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Problema**

La contaminación ambiental en los últimos años ha ido aumentando notablemente. La descarga del agua residual a cuerpos de agua sin un tratamiento previo es un gran problema ya que existe la destrucción de la cadena trófica y a su vez varias personas que están expuestas a esta agua pueden contraer enfermedades como diarrea, cólera, entre otras.

Según Ramalho (2008) las aguas residuales son desechos líquidos que se forman en base a residuos domésticos o su vez de algunos procesos industriales, los cuales no pueden ser desechados a ningún cuerpo de agua sin un tratamiento previo ya que afectan a la salud pública y genera un impacto ambiental negativo.

Existen varias alternativas sostenibles para el agua residual tratada ya que con el incremento poblacional cada vez se está agotando este recurso más rápido.

En Ecuador aproximadamente solo se trata un 12 % de las aguas residuales, es decir que el porcentaje restante no tiene un tratamiento de dichas aguas antes de ser desechadas a quebradas o ríos. (Torske, 2019), es por ello la importancia de las plantas de tratamiento de agua residual en ayuda a la población y el medio ambiente.

## **1.2 Delimitación**

La delimitación del proyecto se llevó a cabo en la provincia de Cotopaxi, específicamente en la zona central de la parroquia San Juan de Pastocalle, que se encuentra dentro de la jurisdicción del Gobierno Autónomo Descentralizado de San Juan de Pastocalle.

## **1.3 Pregunta de Investigación**

¿Cuál es la metodología que se podría aplicar en la población central de la parroquia de Pastocalle para el tratamiento de aguas residuales que contienen materia orgánica muy degradable para un periodo de 25 años?

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General***

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

### ***1.4.2 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.

## **1.5 Hipótesis**

Si aplicamos la metodología de tratamiento de aguas residuales por medio de un sistema de lagunaje se llegaría a obtener una DBO<sub>5</sub> menor a 30 mg/L en el efluente final de las aguas residuales como se indica en las especificaciones técnicas de diseño.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Línea Base**

#### ***2.1.1 Ubicación de la Zona del Proyecto***

El (PDOT de Pastocalle, 2015) afirma lo siguiente:

La Parroquia de Pastocalle, tiene una extensión de 138,7 Km<sup>2</sup> (13.876,63 Ha.), que está delimitada de la siguiente manera: Al norte limita con la provincia de Pichincha, al Sur con la parroquia Tanicuchí, al Occidente con la parroquia Toacaso y Tanicuchí, al Oriente con la parroquia Mulaló. (pp 19)

#### ***2.1.2 Componentes del Medio Físico***

##### **2.1.2.1 Geomorfología**

La geomorfología es la unión de dos ramas importantes como son la geografía y la geología; es decir, estudia las formas de la superficie de la tierra.

La geomorfología de Pastocalle tiene gran similitud a la de las partes altas de la Sierra teniendo así un clima frío y grandes montañas a su alrededor.

El PDOT de Pastocalle (2015) menciona que:

El paisaje general está compuesto por dos cordilleras meridianas, paralelas con altitudes medias de 4.000 a 4.500 metros separadas por la depresión interandina cuyas altitudes varían de 1.600 a 3.000 metros. La cordillera occidental está constituida por el complejo volcánico cretácico en tanto que la cordillera oriental se desarrolla sobre facies metamórficas, levantadas por la orogénesis andina. (p. 51)

##### **2.1.2.2 Pendientes**

PDOT de Pastocalle (2015) menciona que:

El 29% de la parroquia de Pastocalle tiene una pendiente de 5 – 12%; siendo esta la mayor, mientras que el 27% se encuentra entre los rangos de 50 – 70%, teniendo solo el 6 % de la parroquia pendientes mayores al 70% (véase Anexo 1). (p. 37)

### **2.1.2.3 Suelos**

El cantón de Latacunga tiene suelos muy fértiles negros y con una capa de materia orgánica profunda el cual ayuda a que la agricultura y la ganadería sea próspera en la zona, estos suelos lo podemos encontrar en las parroquias, Latacunga, Poaló, Álaquez, Mulaló, Tanicuchí, Tacaso y San Juan de Pastocalle. Existen varios tipos de suelo en el cantón de Latacunga, sin embargo, se detalla a continuación los que se encuentran en la parroquia de Pastocalle: Inceptisoles ocupando el 60,65% de la superficie total del cantón. Entisoles ocupando un 16,53%, estos tipos de suelos se encuentran en la mayoría de las parroquias con territorios altos como son Mulaló, Poaló, Guaytacama, San Juan de Pastocalle, Tanicuchí, Once de noviembre (véase Anexo 2). (PDOT de Latacunga, 2016, pp 16-17)

### **2.1.2.4 Clima**

Para la determinación del clima es necesario información meteorológica obtenida de un periodo de tiempo largo, el cual representa valores promedio de las condiciones atmosféricas.

“La parroquia de Pastocalle está dentro de tres tipos de regímenes climáticos Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo, cubriendo un área de 3012,55 ha; Ecuatorial de Alta Montaña, con 10776,78 ha; y el Nieval con 107,2 ha” (PDOT de Pastocalle, 2015, p 24).

### **2.1.2.5 Temperatura**

Pastocalle está atravesada por el callejón Interandino, con un rango altitudinal desde 3.028 m.n.s.m. hasta los 5.199 m.s.n.m., con una temperatura entre los 6 y 12 °C. Presentando cuatro Isotermas bien diferenciados y claramente ligados al rango altitudinal de la parroquia (véase Anexo 3). (PDOT de Pastocalle, 2015, pp 26)

**Tabla 1***Rangos isotermos, parroquia San Juan de Pastocalle*

GRADOS CENTÍGRADOS (°C)	ÁREA (ha)
0-1	117,02
1-2	124,04
2-3	165,81
3-4	236,68
4-5	252,95
5-6	353,39
6-7	503,60
7-8	850,80
8-9	3577,50
9-10	3450,62
10-11	1718,56
11-12	2396,53

*Nota:* La tabla refleja los rangos en grados centígrados, Isotermas. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: PDOT de Pastocalle, (2015).

### **2.1.2.6 Precipitación**

En la parroquia de Pastocalle debido a la altitud y las formaciones vegetales, se presenta precipitaciones anuales en un rango que va desde los 600 mlm a los 1400 mlm en los meses de septiembre a noviembre y de enero a mayo (véase Anexo 4). (PDOT de Pastocalle, 2015, pp 27)

**Tabla 2***Rangos precipitaciones isoyetas*

PRECIPITACIÓN (mlm)	ÁREA (ha)
600-700	693,73721
700-800	2027,45145
800-900	2434,39814
900-1000	3066,50748
1000-1100	2553,99297
1100-1200	1893,25371
1200-1300	1091,53038
1300-1400	115,767496

*Nota:* La tabla refleja el rango de las precipitaciones. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: PDOT de Pastocalle, (2015).

### **2.1.3 Componentes del Medio Biótico**

#### **2.1.3.1 Flora**

El PDOT de Pastocalle (2015) afirma que:

Al norte del territorio de la parroquia San Juan de Pastocalle y a una altura de 3.300 y 3.500 metros, se encuentra una exuberante vegetación nativa, que se adapta a la temperatura y a los drásticos cambios de clima, entre estos árboles y arbustos y gran cantidad de plantas. Existen especies de flores que sobresalen por su belleza y adornan el entorno de estos sitios; entre la flora tenemos el pumamaqui, qishuar, yagu, chuquirahua, paja blanca, romerillos, aliso, cedro, entre otros y gran cantidad de plantas el mortiño, chilca, achupallas, sacha capulí y orquídeas.

#### **2.1.3.2 Fauna**

La fauna existente en la zona es de gran variedad, existen especies que están en riesgo de extinguirse por la caza indiscriminada.

En Pastocalle se encuentra animales como conejo de monte, zorro, cuy, venados, ciervos, curianguines, pavas de monte, patos, guarros, tangaras, entre otros.

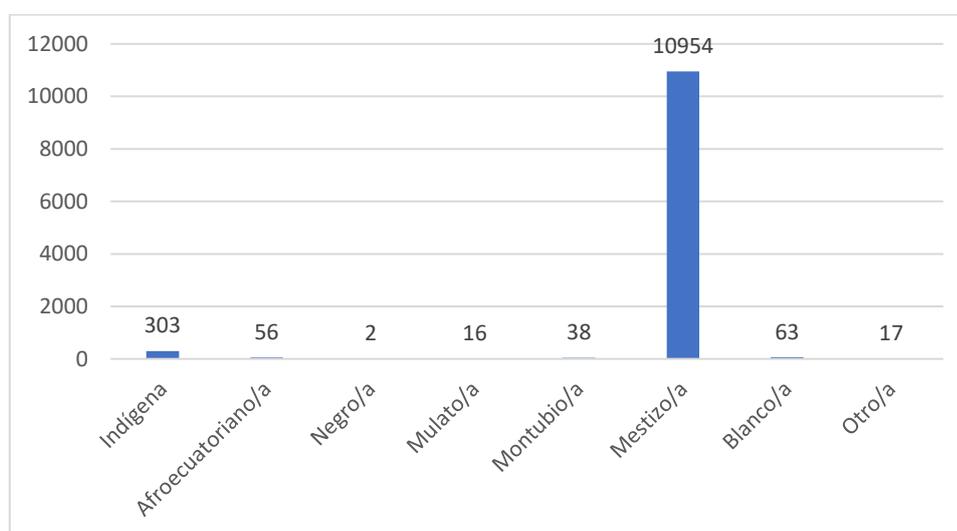
## 2.1.4 Componente Sociocultural

### 2.1.4.1 Identidad Según su Cultura y Costumbres

El PDOT de Pastocalle (2015) menciona que en la parroquia San Juan de Pastocalle la mayoría de la población, es decir, el 95,66% se identifica como Mestizo; y 303 personas se identifican como Indígena lo que corresponde al 2,65% de la población total. (p. 75)

**Figura 1**

*Identificación según su cultura y costumbre*



**Nota:** En la figura se visualiza como se identifica la población de Pastocalle. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021 Tomado de: PDOT de Pastocalle, (2015).

## 2.1.5 Componente Económico

El PDOT de Pastocalle, (2015) afirma que:

La Población Económicamente Activa en la parroquia San Juan de Pastocalle ocupa el 6% del total PEA del Cantón Latacunga. De la PEA total de la parroquia, 4835 personas están trabajando diariamente y de estas podemos identificar el aporte al Cantón Latacunga con el 10,5% de la PEA primaria (Agropecuaria), con el 8% de la actividad secundaria (Industria y Manufactura) y con el 2,56% de la actividad terciaria (Comercio y Servicios). (p. 99)

## **2.2 Agua**

El agua es la fuente vital de vida en el mundo cumpliendo con más del 70% de la superficie de nuestro planeta.

Fenández (2012) afirma que “el agua es un material flexible: un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se congela.” (p. 148).

El agua es un recurso natural indispensable en los ecosistemas y es utilizado para varias actividades diarias, por ejemplo, para transporte, agricultura, industria.

El agua constituye una necesidad primordial para la salud.

### ***2.2.1 Contaminación de Aguas***

(Sánchez, 2006) afirma lo siguiente:

La contaminación es cuando se ingresa a un entorno sustancias, elementos, materias o formas de energía que afectan el equilibrio del ecosistema. La contaminación del agua se puede realizar de forma directa o indirecta perjudicando su calidad en relación con los usos posteriores, con la salud humana o con los ecosistemas acuáticos. (p. 25)

### ***2.2.2 Fuentes de Contaminación***

#### **2.2.2.1 Fuentes Naturales**

Sanchón , (2008) afirmó lo siguiente:

Dependiendo de los terrenos que atraviesa el agua se puede encontrar componentes de origen natural como son sales minerales sales minerales, calcio, magnesio, hierro etc. procedentes del contacto con la atmósfera y el suelo. Además, encontró que todas las sustancias anteriormente mencionadas pueden ser nocivos para la salud, e identificar y eliminar fácilmente. (p. 1)

### **2.2.2.2 Fuentes Artificiales**

Sanchón (2008) afirmó que:

Las fuentes artificiales son producidas como consecuencia de las actividades humanas. A lo largo del tiempo se puede presenciar que el desarrollo industrial ha provocado presencia de ciertos componentes los cuales son difíciles de eliminar y son perjudiciales para los organismos y el medio ambiente. (p. 1)

### **2.2.3 Principales Contaminantes del Agua**

#### **2.2.3.1 Microorganismos Patógenos**

Son agentes infecciosos que pueden provocar enfermedades, entre los más comunes tenemos a las bacterias, virus, protozoos y otros organismos.

Los microorganismos patógenos llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Para medir la presencia de los patógenos es necesario determinar el índice de salubridad del agua. La OMS recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de coliformes por 100 ml de agua (Sanchón , 2008).

#### **2.2.3.2 Desechos Orgánicos**

También se los conoce como residuos orgánicos los cuales son biodegradables y normalmente están compuestos por restos de comida producidos del ser humano y animales.

Los desechos pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno (Sanchón , 2008).

#### **2.2.3.3 Sustancias Químicas Inorgánicas**

Según Sanchón (2008) “en este grupo se encuentran los ácidos, sales y metales tóxicos, si se encuentran a altas cantidades pueden causar daños graves a los seres vivos y a su vez disminuye el rendimiento agrícola” (p. 2).

#### **2.2.3.4 Nutrientes Vegetales Inorgánicos**

Aquí se encuentran los nitratos y fosfatos los cuales son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para un correcto desarrollo, también favorece el crecimiento de las algas y de varios organismos provocando la eutrofización de las aguas.

#### **2.2.3.5 Compuestos Orgánicos**

El petróleo, gasolina, plaguicidas, detergentes entre otros, son de difícil degradación debido a contener moléculas complejas.

#### **2.2.3.6 Sedimentos y Materiales Suspendedos**

Según Sanchón (2008) menciona que:

La mayor fuente de contaminación del agua son varias partículas arrastradas al agua junto con otros materiales que se encuentran en suspensión en el agua. Además, encontró que la turbidez y los sedimentos acumulados dificultan la vida de algunos organismos y obstruyen canales, ríos y puertos (pp. 2-3).

### **2.3 Agua Residual**

“Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro, y se debe realizar un tratamiento previo ya que contienen gran cantidad de sustancias y microorganismos dañinos para el ecosistema” (Espigares y Pérez , 1985 p. 4).

“Estas aguas son procedentes de vertidos principalmente domésticos e industriales. Las aguas residuales se caracterizan por su composición tanto física, química y biológica” (Rodriguez, 2018).

#### **2.3.1 Tipos de Agua Residual**

Las aguas residuales tienen varios orígenes que los clasificaremos en:

### **2.3.1.1 Aguas Residuales Domésticas o Aguas Negras**

Son aquellas aguas de las viviendas, instituciones o establecimientos comerciales provenientes de heces, orina, aseo personal, cocina, entre otras, contienen restos de jabones, aceites, detergente.

### **2.3.1.2 Aguas Blancas**

“Las aguas blancas provienen de lluvia, hielo, del riego o de limpieza de calles, y para no saturar los sistemas de depuración son evacuadas por separado”. (Espigares y Pérez , 1985)

### **2.3.1.3 Aguas Residuales Industriales**

Estas aguas son provenientes de industrias o fábricas, su composición es muy variable de acuerdo al tipo de proceso industrial, estas aguas pueden contener aceites, grasas, ácidos, detergentes, entre otros.

### **2.3.1.4 Aguas Residuales Agrícolas**

Las aguas agrícolas provienen de la escorrentía superficial con presencia de pesticidas, herbicidas, sólidos en suspensión y sales.

## **2.4 Características del Agua Residual**

### ***2.4.1 Características Físicas***

Toda agua residual viene cargada con una inmensa variedad de contaminantes muchos de ellos dependen del origen de la misma que estos pueden ser de hogares, instituciones, oficinas e industrias, es por esto que surge la necesidad de investigar aquellas características que permitan establecer métodos de tratamiento para la depuración del agua residual (López et al., 2017)

#### **2.4.1.1 Color**

Este parámetro difiere mucho dependiendo del origen del agua residual principalmente cuando se trata de descargas provenientes de industrias.

Zambrano, (2009) menciona lo siguiente:

En primera instancia el agua residual toma un color gris, sin embargo, cuando las condiciones hacen que la presencia de oxígeno desaparezca esta agua va adquiriendo un color más oscuro hasta finalmente llegar a negra. Este color gris o negro por lo general se debe a la formación de sulfuros metálicos. (p. 29)

#### **2.4.1.2 Olor**

La presencia de olor en aguas residuales se debe frecuentemente a la descomposición de materia orgánica, proceso en el cual se libera gases como el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) producido por los microorganismos anaerobios que reducen los sulfatos a sulfitos y que se describe como un olor muy desagradable, es importante mencionar que en el caso de las aguas industriales la causa de la presencia de olores puede deberse a diferentes fuentes. Una sustancia de olor ofensivo es aquella que, por sus propiedades organolépticas, composición y tiempo de exposición, puede causar efectos desagradables y generar una respuesta. (Hernandez et al., 2012, p. 40)

#### **2.4.1.3 Sólidos Suspendidos**

“Son los responsables del desarrollo de depósitos de fango y condiciones anaerobias, pueden ser removidos por medios físicos o mecánicos a través de proceso de filtración o de sedimentación” (Zambrano, 2009, p. 23).

#### **2.4.1.4 Sólidos Totales**

“Los sólidos totales son la materia que se obtiene luego de que el agua ha sido sometida a evaporación (103 °C-105 °C)” (Metcalf y Eddy, 1995).

#### **2.4.1.5 Temperatura**

“La temperatura dentro del agua residual oscila entre 10 a 30 °C” (Torres, 2020).

Y con esta temperatura se logrará un ambiente óptimo para una actividad microbiana buena.

### 2.4.1.6 Turbidez

“La causa de este parámetro se debe a la materia en suspensión dentro del agua residual, estas pueden ser arcillas, sílice, partículas inorgánicas, etc.” (Metcalf y Eddy, 1995)

### 2.4.2 Características Químicas

#### 2.4.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Se define como “la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios puedan oxidar metabólicamente la materia orgánica presente en la muestra de agua” (Gil, 1998).

#### 2.4.2.2 Dureza

Una de las características principales de las aguas duras es la cantidad de jabón que se necesita para que se produzca espuma, la clasificación de este tipo de agua es la siguiente:

**Tabla 3**

*Clasificación de dureza en el agua*

Dureza presente en el agua [ $\frac{mg}{L}$ ]	Tipo de agua dura
0-75	Blanda
75-150	Moderadamente dura
150-300	Dura
>300	Muy dura

*Nota:* La presente tabla describe los diferentes tipos de agua dura según la cantidad de mg/L de CaCO<sub>3</sub> presente en el agua. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021 Tomado de: (Romero, 1999).

El origen de la dureza se debe a la carbonatación del agua que en el caso de existir carbonatos presentes en el agua estos pueden precipitarse al hervir el agua, por ello posee el nombre de “dureza no permanente o temporal”, y en el caso de no existir carbonatos, la dureza del agua se debe principalmente a los nitratos, sulfatos y cloruros de magnesio y calcio (Muñoz, 2008).

### **2.4.2.3 Compuestos Nitrogenados**

Este compuesto promueve el crecimiento y desarrollo tanto de plantas y animales. Los compuestos que poseen mayor importancia dentro del grupo de compuestos son el nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y el nitrógeno orgánico. “El incremento del contenido de nitrógeno amoniacal en el agua indica la presencia de contaminación por aguas residuales” (Romero, 1999).

Existen procesos de nitrificación que ocurre cuando nitro-bacterias oxidan nitritos para formar nitratos, es importante mencionar que este proceso de remoción biológica se utiliza como primera etapa para la descontaminación de aguas residuales que contienen nitrógeno amoniacal. A su vez también existe el proceso de desnitrificación que se da en condiciones anaeróbicas donde las bacterias se encargan de reducir nitritos llegando a convertirlos en gas nitrógeno (Romero, 1999).

### **2.4.2.4 Compuestos de Azufre**

“Dentro del grupo de compuestos de azufre se encuentran los sulfatos que son los más comunes en aguas naturales” (Muñoz, 2008). La presencia de sulfatos en agua residual genera principalmente olores e inclusive erosión de alcantarillas debido a los procesos de reducción que se pueden dar en condiciones anaerobias.

Otro compuesto importante son los sulfuros que usualmente se encuentran de manera suspendida o disuelta en el agua residual.

“Y finalmente los sulfitos cuyo azufre presente se encuentran en su estado de oxidación +4. El exceso del ion sulfito en aguas para calderas, es perjudicial porque baja el pH y promueve corrosión” (Romero, 1999).

### **2.4.2.5 Cloruros**

En altos niveles de concentración es un indicador de que el agua ha sido contaminada debido a factores antropogénicos, ya que este ion es usado como un agente bactericida entre

otros para que el agua sea apta para consumo humano. Es importante mencionar que, si es posible su existencia de manera natural a causa de los elementos liberados durante su recorrido por ríos, lagunas, etc.

“El cloro puede producir efectos adversos como el de intensificar el sabor y olor característicos de fenoles y otros compuestos orgánicos, la formación de compuestos organoclorados que son potencialmente carcinógenos” (Aguilar, 1987, p. 3).

#### 2.4.2.6 Fósforo

(Lenntech, 2020) afirma que “Las aguas residuales urbanas suelen contener de 5 a 20 mg/l de fósforo total, del cual el 1-5 mg/l es orgánico y el resto es inorgánico” (p. 1).

Es necesario un control adecuado de la presencia de fósforo en las plantas de aguas residuales para evitar la eutrofización de las aguas superficiales.

#### 2.4.2.7 Oxígeno Disuelto (OD)

“Se considera como oxígeno disuelto a la cantidad de oxígeno gaseoso que se encuentra disuelto en el agua” (Peña, 2007). La cantidad de oxígeno disuelto es muy importante para la vida tanto para la fauna como la flora, a continuación, se detallan los efectos causados por las diferentes concentraciones de oxígeno disuelto.

**Tabla 4**

*Efectos causados por concentraciones de oxígeno disuelto en las especies*

Concentración [ppm]	Efectos causados
5-6	Suficientemente bueno para la mayor parte de las especies.
< 3	Dañino para la mayor parte de las especies acuáticas.
< 2	Fatal para la mayor parte de las especies acuáticas.

*Nota:* La presente tabla describe los efectos causados a la vida acuática por las diferentes concentraciones de ppm de oxígeno disuelto presente en agua. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: (Peña, 2007)

#### **2.4.2.8 Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

“La DQO o Demanda Química de Oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual” (Hidritec, 2020).

#### **2.4.2.9 Grasas y Aceites**

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos cuya composición principal es de ácidos grasos de origen animal y vegetal, al igual que hidrocarburos de petróleo. Uno de los principales inconvenientes con este tipo de contaminante es a causa de su baja densidad por ello tienen poca solubilidad en el agua, logrando que su nivel de biodegradabilidad descienda drásticamente, incluso pudiendo llegar a formar capas en forma de “nata” que cubre la superficie del agua impidiendo a su vez el intercambio de oxígeno y debilitando el paso de la luz solar. (Toapanta, 2019)

#### **2.4.3 Características Biológicas**

Existen varios microorganismos patógenos que pueden estar presentes dentro del agua residual los cuales pueden generar daños a la salud de los seres vivos e implicar problemas para su posterior proceso de depuración.

##### **2.4.3.1 Algas**

Son aquellos organismos que generan oxígeno como proceso final, que utilizan cloroplastos para procesar la luz solar. “Las principales ramas típicas de interés en aguas son clorofitas, euglenofitas, crisofitas y dinofíceas” (Marín, 2017). Se puede decir que su presencia representa una relación simbiótica con las bacterias que también pueden encontrarse en el agua residual, logrando así la estabilización de la materia orgánica. Esta presencia puede deberse a altos niveles de nitrógeno y fósforo.

#### **2.4.3.2 Hongos**

(Marín, 2017) afirma que:

Los hongos de las aguas pueden ser saprofitos, parásitos (que atacan a muchas variedades de plantas y animales, permanente u ocasionalmente) o depredadores de protozoos, rotíferos o nemátodos. La mayoría de los hongos acuáticos necesitan N<sub>2</sub> libre, pudiendo degradar proteínas, azúcares, almidón, grasas, pectina, celulosas, lignina, etc. (p. 35)

#### **2.4.3.3 Bacterias**

Son seres procariotas y unicelulares que se encuentran prácticamente en cualquier lugar. Muchas de ellas generan infecciones y es por ello que se emplean diversos mecanismos para desinfectar el agua que será utilizada tanto en procesos productivos como para consumo humano. Las más representativas que se encuentran en el agua son las bacterias coliformes. La detección de bacterias coliformes se utiliza para identificar la contaminación fecal de agua residual. (Marín, 2017)

#### **2.4.3.4 Virus**

(Espinoza et al ., 2004) mencionan que:

A pesar de que el agua para uso y consumo humano se desinfecta en muchos países, los virus humanos, en especial los entéricos son más resistentes a dichos tratamientos que las bacterias coliformes, que son utilizados como indicadores de calidad de agua a nivel mundial. (p. 48)

“Generalmente los virus que se encuentran presentes en agua son de tipo entéricos causando un gran número de enfermedades tractos intestinales” (Espinoza et al ., 2004).

## **2.5 Tipos de Tratamientos de las Aguas Residuales**

### **2.5.1 Tratamiento Primario**

#### **2.5.1.1 Sedimentación**

“Se trata de un proceso físico que por gravedad separa las partículas más densas de las menos densas” (Cyclus, 2020).

“El principal parámetro de diseño de los sedimentadores es el tamaño y densidad de las partículas puesto que al tener valores altos aumenta la velocidad de sedimentación” (Aqualia, 2021, p. 2).

#### **2.5.1.2 Flotación**

Este proceso físico se utiliza para la separación líquido-líquido o a su vez sólido-líquido, la densidad de las partículas debe ser mayor al del medio en el que se encuentren las mismas. Existen tres formas de realizar flotación que son mecánica, la cual genera microburbujas con equipos dispersoras de aire. Flotación natural cuya función principal sirve para el desengrasado (CIDTA, 2013).

Y finalmente la flotación inducida que según Lenntech (2020) afirma que “ocurre cuando la densidad de las partículas es artificialmente disminuida para que estas floten. Ya que la capacidad de ciertas partículas sólidas y líquidas al unirse con las burbujas de gas forman partícula-gas con una densidad menor que el líquido” (p. 21).

A continuación, se menciona las condiciones para los diversos procesos de flotación en el agua residual:

**Tabla 5***Condiciones para los diversos procesos de flotación en el agua residual*

Proceso de flotación	Agua usada del flujo de aire $[\frac{nL}{m^3}]$	Tamaño de burbujas [mm]	La energía de entrada por $m^3$ tratado. $[\frac{Wh}{m^3}]$	Tiempo teórico de retención [min]	Carga de la superficie hidráulica $[\frac{m}{h}]$
Flotación ayudada (retiro de grasa)	100-400	2-5	5-10	5-15	10-30
Flotación mecánica (flotación de la espuma)	10	0.2-200	60-120	4-16	
Flotación de aire disuelta (clarificación)	15-50	40-70	40-80	20-40 (excepto la floculación)	3-10

*Nota:* La presente tabla indica las condiciones que deben presentar las aguas residuales para ser tratadas según los diversos tipos de flotación. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: (Lenntech, 2020).

### 2.5.1.3 Coagulación-Floculación

Mediante el proceso de coagulación-floculación se logra una buena depuración del agua residual. Este proceso ayuda a que las partículas se agrupen en pequeñas masas, con peso específico superior al agua, a lo que llamamos flóculos. (Acosta, 2006).

### 2.5.1.4 Filtración

Es un proceso físico que se encarga de la separación de partículas de mayor tamaño al pasar por un medio filtrante poroso, el cual no permite el paso de ciertas partículas debido a su diámetro.

## **2.5.2 Tratamiento Secundario**

### **2.5.2.1 Procesos Aerobios**

En esta etapa ocurre parte de la degradación de la materia orgánica.

Los microorganismos son los encargados del consumo de la materia orgánica metabolizándola y generando desechos de menor carga orgánica.

Según estudios, aproximadamente el 65% de la materia orgánica la transforman en biomasa. Los microorganismos anaerobios producen metano y sólo 10% de la materia orgánica se transforma en biomasa (TECPA, 2018, pp 1-2).

Para TECPA (2018) es importante conocer el modelo de crecimiento de las bacterias para tener un control eficiente de este tipo de tratamiento, por ello se definen cuatro etapas de crecimiento bacteriano:

- Etapa LAG: Las bacterias se encuentran en modo de adaptación al medio circundante.
- Etapa de crecimiento exponencial: Ocurre de manera exponencial la reproducción y crecimiento de las colonias bacterianas consumiendo la mayoría de los recursos disponibles.
- Etapa estacionaria: El crecimiento de la colonia se encuentra en función de la disponibilidad de recursos del medio circundante, por ello el número de células o bacterias nuevas es igual al número de células muertas.
- Etapa de muerte: Dado el consumo en exceso de los recursos del medio, agotándolos hasta que no existe cantidad suficiente de los mismos para sostener las colonias lo que ocasiona que las bacterias empiecen a morir.

### **2.5.2.2 Fangos Activados**

También llamados lodos activados.

“Este método está suministrado de un sistema de recirculación y eliminación de lodos. El medio aerobio en el reactor se alcanza mediante el uso de aireadores mecánicos, que a su vez sirven para conservar los lodos en estado de mezcla completa” (Méndez., et al 2004).

“El uso de lodos activados representa un tratamiento eficiente para la remoción de nitrógeno y fósforo, los cuales pueden usarse en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y domésticas” (Varila y Díaz, 2008).

### **2.5.2.3 Procesos Anaerobios**

“Se puede decir que la tecnología anaerobia es usada por lo general solo para el tratamiento de aguas residuales industriales” (Torres, 2012).

## **2.5.3 Tratamiento Terciario**

### **2.5.3.1 Oxidación Avanzada**

La oxidación avanzada es costosa en cuanto a la mineralización del contaminante, es decir hasta convertirla en dióxido de carbono y agua o a su vez en compuestos de menor peligrosidad. La misma que tiene como ventaja la transformación química de contaminantes sin la producción de lodos. (Pino, 2020).

### **2.5.3.2 Desinfección**

Consiste en la destrucción, extracción, desactivación parcial de los microorganismos de todo tipo que se encuentren principalmente en el agua residual, se podría decir que este sería el paso final para la depuración del agua residual municipal. Se diferencia de la esterilización en cuanto a la desactivación de los microorganismos puesto que en la esterilización ocurre de forma total. El desinfectante ampliamente usado es el hipoclorito de sodio (Lenntech, 2020).

**Tabla 6***Enfermedades producidas por microorganismos en agua residual*

<b>Microorganismo</b>	<b>Enfermedad</b>
Bacteria	
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis
<i>Leptospira (spp.)</i>	Leptospirosis
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella (2,100 serotipos)</i>	Salmonelosis
<i>Shigella (4 spp)</i>	Shigellosis (disentería bacilar)
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Protozorarios	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amoébrica)
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<i>Helmintos</i>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
<i>T. solium</i>	Teniasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Tricuriasis
Virus	
<i>Enterovirus (echo y coxsackie del polio)</i>	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis
<i>Hepatitis A.</i>	Hepatitis de tipo infeccioso
<i>Agenten de Norwalk</i>	Gastroenteritis
<i>Rotavirus</i>	Gastroenteritis

*Nota:* Se indican las enfermedades más comunes que se presentan en seres humanos al tener ingresar los diversos microorganismos al cuerpo. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021 Tomado de: (Aqualia, 2021)

## 2.6 Tren de Tratamiento de Aguas Residuales

Existen varios tipos de tratamientos para depurar el agua residual con la finalidad de que estos lleguen a cumplir con las diversas normativas que regulen las descargas, bien sea a cuerpos de agua dulce como ríos o alcantarillas, o a cuerpos de agua salada como el mar. Estos procesos se pueden definir según el tipo de mecanismo que ocurre, es

decir, en general dentro del tratamiento primario ocurren procesos físicos como la separación por gravedad de las partículas que se encuentran en suspensión dentro del agua residual. (CIDTA, 2013)

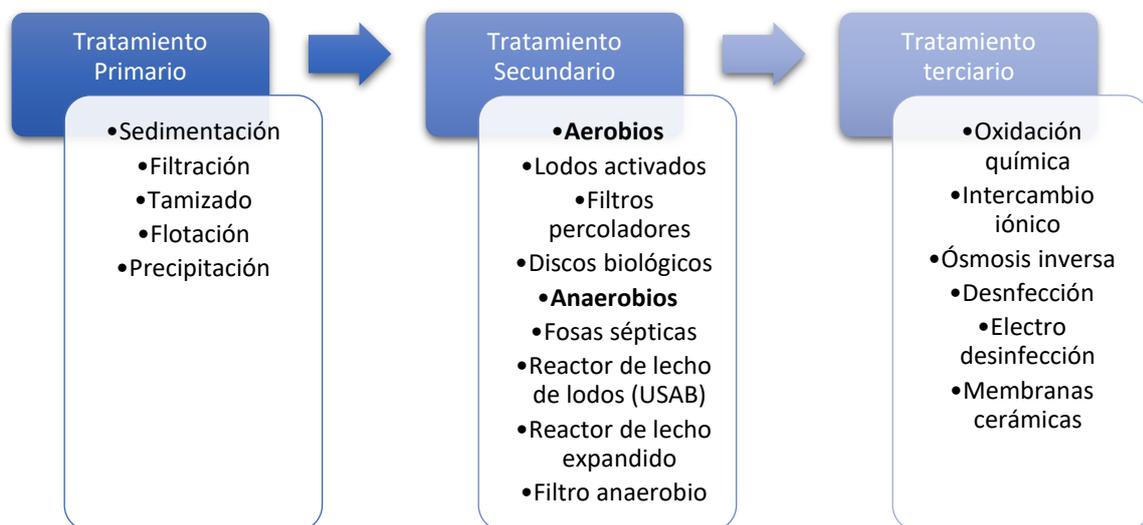
“Dentro del tratamiento secundario, ocurren mecanismos biológicos que se encargan de degradar la materia orgánica debido a la presencia de microorganismos en ambiente anaerobios como aerobios, así mismo se puede definir como tratamiento biológico la utilización de lodos activados”. (Muñoz, 2008)

“Finalmente, como tratamiento terciario ocurren mecanismos químicos dentro de los cuales como se ha mencionado anteriormente se encuentran la oxidación avanzada entre otros, los cuales se utilizan para reducir al mínimo los contaminantes presentes en el agua residual”. (Peña, 2007)

Todos estos procesos se encuentran resumidos en la siguiente figura:

**Figura 2**

*Tren de tratamientos de aguas residual*



*Nota:* La presente figura se representa las etapas para la depuración de aguas residuales. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

## **2.7 Marco Legal**

### ***2.7.1 Constitución de la República de Ecuador***

Conforme a lo establecido en la (Constitución de la República del Ecuador, 2008), publicada mediante Registro Oficial No 499 por la Asamblea Nacional de la República del Ecuador el 20 de octubre de 2008, se señalan los siguientes artículos:

**Art. 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

**Art. 14.-** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Art. 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho del agua.

**Art. 72.-** La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales y jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado

establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

Prestar los 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. 276.-** El régimen de desarrollo tendrá como objetivos:

Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

**Art. 396.-** El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas.

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

**Art. 412.-** La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que

tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

### ***2.7.2 Ley Orgánica de la Salud***

Conforme a lo establecido en la (Ley Orgánica de Salud, 2006), mediante Registro Oficial Suplemento No 423 por el Gobierno Nacional del Ecuador el 22 de diciembre de 2006, se señalan los siguientes artículos:

**Art. 102.-** Es responsabilidad del Estado, a través de los municipios del país y en coordinación con las respectivas instituciones públicas, dotar a la población de sistemas de alcantarillado sanitario, pluvial y otros de disposición de excretas y aguas servidas que no afecten a la salud individual, colectiva y al ambiente; así como de sistemas de tratamiento de aguas servidas.

**Art. 103.-** Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias.

**Art. 104.-** Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuo tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades.

### ***2.7.3 Código Orgánico del Ambiente***

**Art. 26.-** Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental.

Conforme a lo establecido en el (Código Orgánico del Ambiente, 2017), mediante Registro Oficial Suplemento No 983, por el Gobierno Nacional del Ecuador el 12 de abril de 2017, se señalan los siguiente:

Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido.

**Art. 196.-** Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades.

#### ***2.7.4 Acuerdo Ministerial 061.***

Conforme a lo establecido en el (Acuerdo Ministerial 061, 2015), mediante Registro Oficial, Edición Especial No 316 del 4 de mayo del 2015, se señalan los siguientes artículos:

**Art. 211.-** Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

#### ***2.7.5 Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua.***

Conforme a lo señalado en la (TULSMA, 2015), mediante Registro Oficial No 387 del 4 de noviembre del 2015 y bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.

En el apartado 5.2.4 se establecen los límites de descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce, que se detalla a continuación:

**Tabla 7**

*Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permisible</b>
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	30
Alquil mercurio		mg/L	No detectable
Aldehídos		mg/L	2.0
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0.1
Bario	Ba	mg/L	2.0
Boro total	B	mg/L	2.0
Cadmio	Cd	mg/L	0.02
Cianuro (total)	CN <sup>-</sup>	mg/L	0.1
Cloro Activo	Cl	mg/L	0.5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0.1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1.0
Cobalto	Co	mg/L	0.5
Coliformes Fecales	NMP	Nmp/100mL	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0.2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0.5
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	100

Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/L	200
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1.0
Estaño	Sn	mg/L	5.0
Fluoruros	F	mg/L	5.0
Fósforo Total	P	mg/L	10.0
Hierro (total)	Fe	mg/L	10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20.0
Manganeso (total)	Mn	mg/L	2.0
Materia Flotante	Visibles		ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0.005
Níquel	Ni	mg/L	2.0
Nitrógeno amoniacal	(N)	mg/L	30.0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	50.0
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/L	0.1
Plata	Ag	mg/L	0.1
Plomo	Pb	mg/L	0.2
Potencial de hidrogeno	pH		6 - 9
Selenio	Se	mg/L	0.1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/L	1000
Sulfuros	S	mg/L	0.5
Temperatura	°C		Condición natural ±3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0.5

Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1.0
Vanadio	Va	mg/L	5.0
Zinc	Zn	mg/L	5.0

**Nota:** La tabla indica los límites máximos permisibles de ciertos compuestos. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021 Tomado de: (TULSMA, 2015).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción General de la Zona

La presente investigación tuvo lugar en la zona central de la parroquia San Juan de Pastocalle (véase Anexo 5).

#### Figura 3

*Zona de estudio*

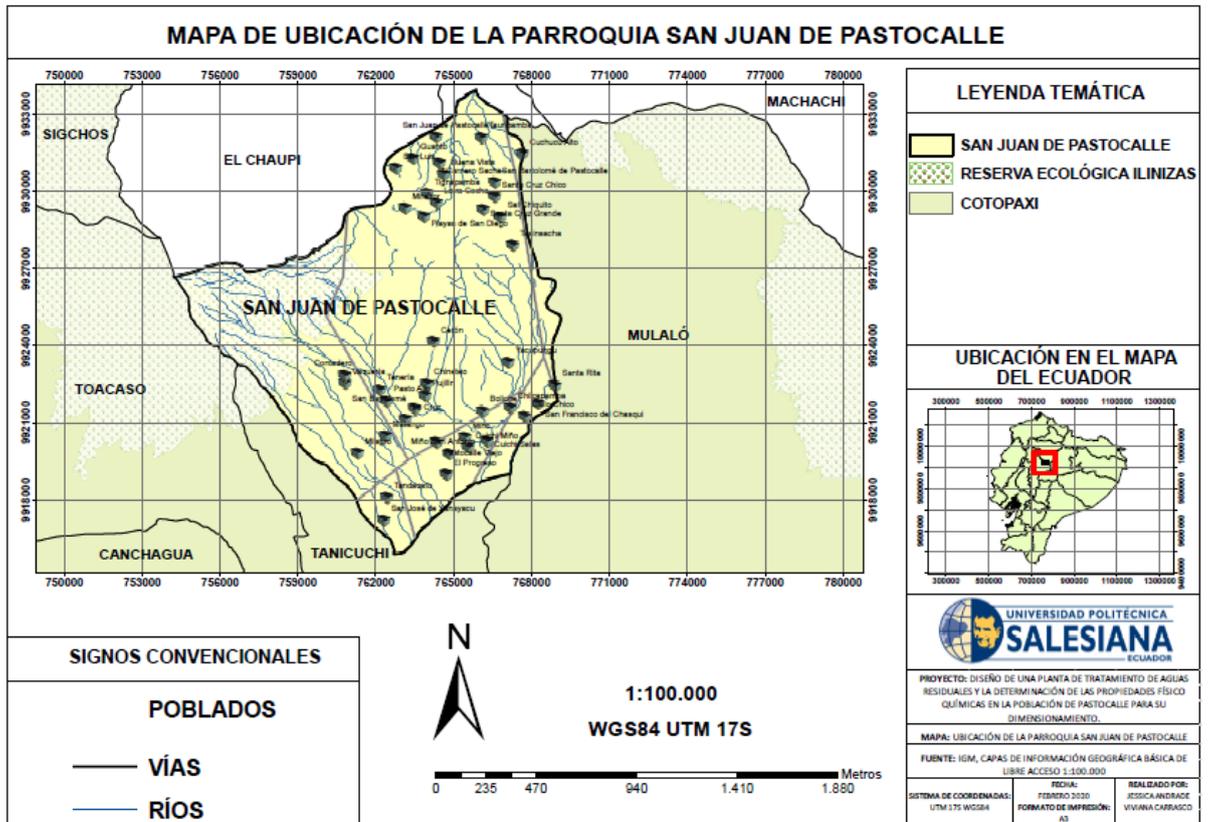


**Nota:** En esta figura se representa la zona de estudio; es decir, la parte central de la parroquia San Juan de Pastocalle en el Ecuador. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

La Parroquia de Pastocalle, tiene un total de 13.876,63 Ha. (PDOT de Pastocalle, 2015)

**Figura 4**

*Mapa de ubicación de la parroquia San Juan de Pastocalle*



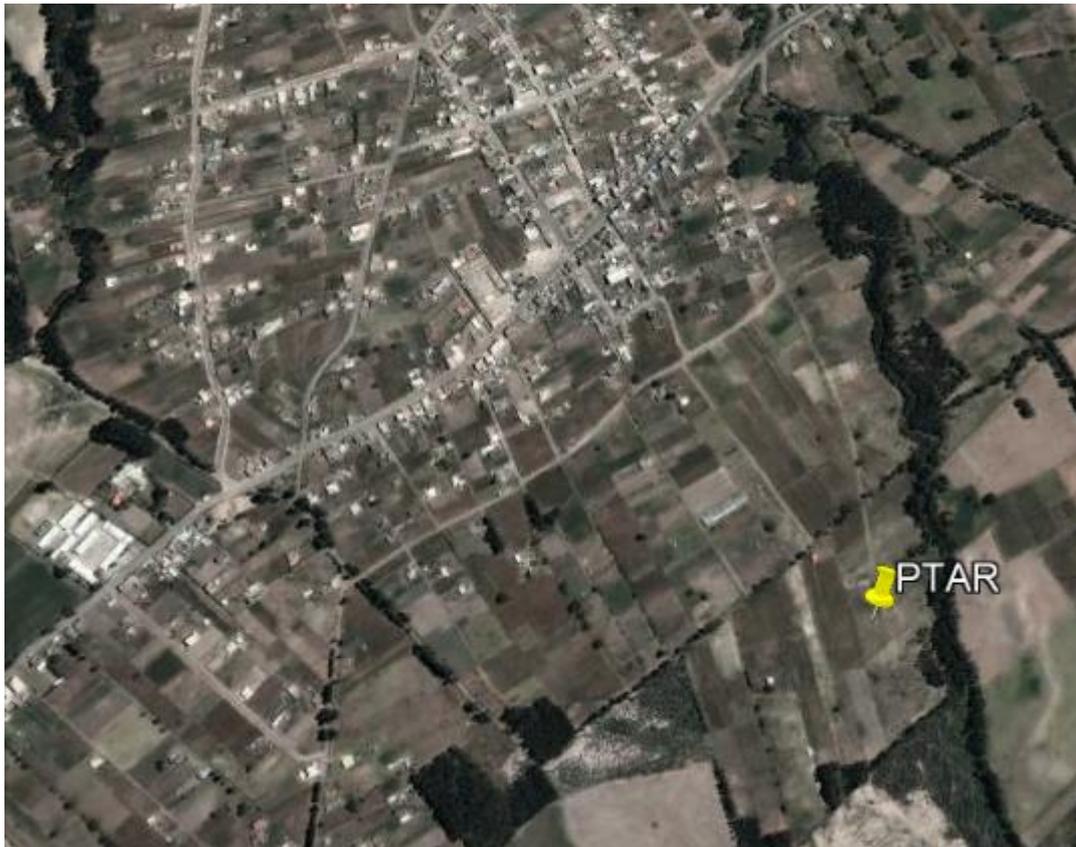
*Nota:* En esta figura se representa la ubicación de la parroquia San Juan de Pastocalle en el Ecuador. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

### 3.2 Ubicación

La ubicación de la PTAR se realizó en la zona baja de la parroquia, ya que el sistema de recolección de aguas residuales trabaja al flujo libre.

#### Figura 5

*Ubicación de la PTAR*



*Nota:* Esta figura se representa la ubicación de la PTAR. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

### 3.3 Plan de Muestreo

Se conoció la calidad del agua de la zona de estudio mediante un muestreo, y en base a los valores obtenidos se determinó el tratamiento adecuado para nuestra planta de tratamiento de agua residual.

Para realizar el muestreo se necesita personal calificado; es importante tener en cuenta el lugar, el tiempo y la frecuencia que se realizará el muestreo.

### ***3.3.1 Técnicas de Tomas de Muestras***

Para realizar un muestreo correcto existen varias técnicas que se detallaran a continuación, utilizando así la más adecuada para este estudio (véase Anexo 7 y 9).

#### **3.3.1.1 Muestra Simple**

“La muestra simple es muy fácil de realizarla, se utiliza un recipiente y se toma la muestra desde el punto. Esta muestra se realiza si el agua no tiene alteraciones o a su vez si hay una descarga no usual o temporal” (Reutelshöfer y Guzmán, 2015, p. 12).

“Es recomendable realizar una muestra simple para el análisis de los parámetros como: pH, temperatura, coliformes fecales y totales, oxígeno disuelto, turbiedad, salinidad y conductividad” (Reutelshöfer y Guzmán, 2015, p. 12).

#### **3.3.1.2 Muestra Compuesta**

Para la muestra compuesta se necesita un equipo adecuado y tiempo para hacerlo. Esta muestra es el conjunto de varias muestras simples tomadas durante un cierto periodo de tiempo y se usa para conocer las condiciones físico químicas del agua, con el fin de controlar la eficiencia de una PTAR. (Reutelshöfer & Guzmán, 2015)

### ***3.3.2 Procedimiento para la Toma de Muestras***

Se realizó una visita técnica a la zona de estudio, se tomó toda la información necesaria y se identificó el punto de muestreo para determinar la calidad del agua residual actual.

Según el procedimiento de (Reutelshöfer y Guzmán, 2015, p. 12) se realizó el muestreo; se lo detalla a continuación:

1. Se preparó el equipo y materiales para la recolección de la muestra.
2. Se realizó el etiquetado de la muestra antes de iniciar el muestreo.
3. El recipiente del muestreador y el balde se los enjuagó con el agua residual.
4. Se tomó la muestra en base a la técnica establecida de acuerdo a los parámetros a analizar.

5. Se Tomó la muestra en un recipiente esterilizado para el análisis de los parámetros microbiológicos.
6. Se tapó el frasco inmediatamente y se colocó en un cooler a temperaturas frías.

**Tabla 8**

*Requerimiento para la toma de muestras*

<b>Parámetros</b>	<b>Cantidad mínima de muestra (mL)</b>	<b>Tiempo máximo de almacenamiento</b>	<b>Formas de conservación</b>
Aceites y Grasas	1000	28 días	Agregar ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH < 2 y refrigeración
Alcalinidad	200	24 horas/14 días	Refrigeración
DBO	1000	6 horas/48 horas	Refrigeración
DQO	100	7 días/28 días	Análisis inmediato o agregar ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH < 2 y refrigeración
Cianuro Total	500	24 horas/14 días	Agregar Hidróxido de Sodio (NaOH) hasta pH > 12, refrigeración en oscuridad.
Fenoles	500	Si es posible refrigerar durante el almacenamiento y realizar su análisis lo	Refrigeración y agregar ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) hasta pH < 2

		más pronto posible/ 28 días	
Conductividad	500	28 días	Refrigeración
Dureza	100	6 meses	Agregar ácido nítrico (HNO <sub>3</sub> ) hasta pH < 2
Fosfato	100	48 horas	Para fosfato disuelto filtración inmediata y refrigeración
Nitrato	100	48 horas	Análisis inmediato o refrigeración
Nitrato + Nitrito	200	-----	Análisis inmediato o refrigeración
Nitrito	100	-----	Análisis inmediato o refrigeración
Oxígeno disuelto (electrodo)	300	0,5 horas/inmediato	Análisis inmediato
pH	-----	2 horas/inmediato	Análisis inmediato
Sólidos	-----	7 días	Refrigeración
Sulfatos	-----	28 días	Refrigeración
Sulfuro	100	28 días	Refrigeración, agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/

			100 mL; Agregar Hidróxido de sodio (NaOH) hasta pH > 9
Temperatura	-----	Inmediato	Análisis inmediato
Turbidez	-----	24 horas	Análisis inmediato, guardar en oscuridad hasta 24 horas y refrigeración

*Nota:* La tabla indica los requerimientos necesarios de la toma de muestras. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021 Tomado de: APHA et al., 1992, p. 1-42-1-44.

### 3.4 Parámetros Analizados

En este trabajo experimental se analizó parámetros in situ y fisicoquímicos los cuales se detallan a continuación.

#### 3.4.1 Parámetros In situ

Estos parámetros fueron medidos a las 7:00 horas y a las 19:00 horas, en el punto establecido para el muestreo en la parroquia de Pastocalle. (véase Anexo 8).

##### 3.4.1.1 Temperatura

###### Toma de muestra

Se tomó 50 mL de muestra en un recipiente de plástico y de manera inmediata se introdujo directamente el equipo de medición (termómetro).

## Materiales y equipos

**Tabla 9**

*Materiales y equipos para la medición de temperatura*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
50mL de agua residual	Termómetro de mercurio
Recipiente plástico	

*Nota:* En esta tabla observamos los materiales y equipos requeridos para la medición de la temperatura. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

### Procedimiento

Se tomó la cantidad de agua de 50 mL en un recipiente de plástico y se introdujo el termómetro y se registró el dato de temperatura.

#### 3.4.1.2 pH

##### Toma de muestra

Se recolectó la cantidad de 50 mL de muestra en un recipiente de plástico.

##### Materiales y equipos

**Tabla 10**

*Materiales y equipos para la medición de pH*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
50mL de agua residual	pH metro
Recipiente plástico	

*Nota:* En esta tabla observamos los materiales y equipos requeridos para la medición de pH. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

### Procedimiento

Se tomó la cantidad de agua de 50 mL en un recipiente de plástico, se introdujo el pH metro y se registró el dato de pH.

### 3.4.1.3 Turbidez

#### Toma de muestra

Se tomó 25 mL de muestra en un recipiente plástico.

#### Materiales y equipos

**Tabla 11**

*Materiales y equipos para la medición de la turbidez.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
25mL de agua residual	Turbidímetro
Recipiente plástico	

*Nota:* En esta tabla observamos los materiales y equipos requeridos para la medición de la turbidez. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### Procedimiento

Se verificó previamente que las celdas del turbidímetro se encuentren limpias, y se colocó la muestra en las celdas para la lectura en el equipo de medición.

### 3.4.1.4 Oxígeno Disuelto

#### Toma de muestra

Se recolecto la cantidad de 50 mL de muestra en un recipiente de plástico.

#### Materiales y equipos

**Tabla 12**

*Materiales y equipos para la medición de oxígeno disuelto*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
50mL de agua residual	Oxímetro
Recipiente plástico	

*Nota:* En esta tabla observamos los materiales y equipos requeridos para la medición de oxígeno disuelto. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

## **Procedimiento**

Se tomó la cantidad de agua de 50 mL en un recipiente de plástico, se introdujo el oxímetro y se registró el dato de oxígeno disuelto.

### **3.4.2 Parámetros Físico-Químicos**

#### **3.4.2.1 Parámetros Químicos**

Para estos parámetros nos basamos en la norma técnica ecuatoriana 2169-2013 en donde se tomó una muestra compuesta en un horario de 7:00 a 19:00 horas con intervalos de 30 minutos en el punto de muestreo previamente establecido; el mismo que posee las siguientes coordenadas, latitud: 0,732111 y longitud: -78,631350. Estas muestras se tomaron el día 24 de enero del 2021 las mismas que se mandaron analizar en el laboratorio certificado LASA con acreditación N° SAE LEN 06-002. (véase Anexo 15)

#### **3.4.2.2 Parámetros Físicos**

##### **3.4.2.2.1 Sólidos Totales**

#### **Toma de muestra y almacenamiento**

En una botella de vidrio ámbar se recolecto 1000 mL, los mismos que se tomó con mucha precaución.

La muestra se transportó al laboratorio a una temperatura promedio de 4°C a 5°C.

#### **Materiales y equipos**

**Tabla 13**

*Equipos, reactivos y materiales para determinar sólidos totales*

<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Materiales</b>
Estufa	Agua Destilada	Muestra de agua residual
Mufla		Probeta graduada a 100 mL
Desecador		Guantes para calor

---

Balanza analítica

Crisol de porcelana de 50  
mL

Filtros de fibra de vidrio

Vasos de precipitación de  
100 mL

Pipeta de 10 mL

---

*Nota:* En esta tabla podemos encontrar los insumos utilizados en el laboratorio para determinar los sólidos totales. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

### **Procedimiento**

1. Se colocó un crisol de porcelana limpio previamente lavado en la estufa a ignición a 105 °C por un tiempo de una hora, luego se lo puso en el desecador para su posterior pesaje.
2. Se colocó un volumen de 10 mL de la muestra en el crisol y se llevó a la estufa; por un intervalo de tiempo de 24 horas aproximadamente.
3. Se dejó enfriar el crisol en el desecador y posteriormente se pesó.
4. Se realizó este proceso 4 veces.

**Los sólidos totales se calculan:**

$$\text{sólidos totales (mg/L)} = \frac{(\text{Peso A} - \text{Peso B}) * 1000}{\text{volumen de la muestra(mL)}}$$

**Donde:**

A = Peso del residuo seco + crisol a 105°C, (mg)

B = Peso del crisol a 105°C, (mg)

### 3.4.2.2.2 Sólidos Sedimentables

#### Toma de muestra y almacenamiento

En una botella de vidrio ámbar se recolectó 1000 mL, de muestra. Se transportó la muestra al laboratorio a una temperatura promedio de 4°C a 5°C.

#### Materiales y equipos

**Tabla 14**

*Equipos, reactivos y materiales para determinar sólidos sedimentables*

<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Materiales</b>
Desecador	Agua Destilada	Muestra de agua residual
Horno con rango de temperatura		Probeta graduada a 100 mL
Estufa de secado		Cono de Imhoff
Balanza analítica		

*Nota:* En esta tabla podemos encontrar los insumos utilizados en el laboratorio para determinar los sólidos sedimentables. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### Procedimiento

1. Se llenó el cono de Imhoff con un litro de la muestra y se dejó reposar por 60 minutos.
2. Se agitó ligeramente los lados del cono con una varilla de vidrio y se dejó reposar por 15 minutos más y registró el volumen de material sedimentado.
3. Se realizó este proceso 4 veces.

#### Cálculos

$$\text{Sólidos sedimentables} = \frac{\text{Volumen sedmientado (mL)}}{\text{Volumen de la muestra en el cono (L * h)}}$$

### 3.4.2.3 Prueba de Jarras

Este método sirve para determinar la dosis óptima de coagulantes en plantas de tratamiento de agua, también nos permite simular la coagulación-floculación para determinar la calidad de agua final luego de seleccionar los químicos adecuados en este proceso.

### **Toma de muestra y almacenamiento**

Se tomó 12 litros de agua residual en un recipiente de plástico un día antes, previo al análisis en el laboratorio.

### **Materiales y equipos**

**Tabla 15**

*Materiales, reactivos y equipos para la realización de prueba de jarras*

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
Probeta 1 L	Sulfato de aluminio Cloruro férrico Sulfato ferroso	Equipo de prueba de jarras
Vasos de precipitación de 400 mL	Agua destilada	Turbidímetro
Jeringas hipodérmicas de plástico de 5 y 10 mL		pH metro
Balones aforados de 100 mL		
Piseta		

*Nota:* En esta tabla podemos encontrar los insumos utilizados en el laboratorio para la prueba de jarras.  
Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

### **Procedimiento**

1. Se determinó la temperatura, turbiedad y pH del agua residual.
2. Se midió las cantidades de coagulante (Sulfato de Aluminio 1%) para dosis de 0,03 g/L, 0,04 g/L, 0,16 g/L, 0,25 g/L, 0,33 g/L.

3. Se programó el equipo para girar las paletas a 100 rpm, y adicionamos el coagulante manteniendo esa velocidad por 1 min
4. Se realizó la prueba lenta, girando las paletas a una velocidad de 40rpm normalmente por un lapso de 15min
5. Se suspendió la agitación y esperamos aproximadamente 20min para la sedimentación.
6. Anotamos los tiempos que duran las muestras en sedimentarse.
7. Se tomó alícuotas de 10mL de muestra y medimos la turbiedad, pH y temperatura.
8. Se realizó el mismo proceso con la muestra sedimentada.
9. Anotamos los resultados.
10. Seleccionamos la Dosis Óptima que es aquella que con menor Turbiedad (clarificación)

#### ***3.4.2.3.1 Concentración Óptima de Coagulante***

##### **Procedimiento**

1. Con la dosis óptima y el pH óptimo previamente determinados, se realizó la prueba de jarras en forma convencional.

#### ***3.4.2.3.2 Índice de Willcomb***

Técnica que permite asignar un valor cualitativo para poder calificar la formación más consistente y rápida de sedimentar de los flóculos luego del proceso de coagulación-floculación luego del tamaño de los flocs y su velocidad (Giordani et al., 2008)

**Tabla 16***Descripción de la formación de flóculos*

Índice		Descripción de Flóculos
0	Coloidal	Ningún signo de aglutinación.
2	Visible	Casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso	Flóculo bien formado pero distribuido uniformemente es muy disperso y no sedimenta.
6	Claro	Tamaño relativamente grande que precipita con lentitud.
8	Bueno	Flóculo, se deposita fácilmente (no completamente).
10	Excelente	Flóculo que se deposita totalmente, dejando el agua cristalina.

*Nota:* En esta tabla nos indica la descripción de flóculos de acuerdo con su índice en base al agua residual. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: (Acosta, 2006)

### **3.5 Determinación del Método**

Para determinar el adecuado tratamiento en base al agua residual analizada se establece la relación de DQO/DBO el cual se conoce como índice de biodegradabilidad.

“La DQO es aproximadamente el doble de la DBO, ya que este método oxida toda la materia orgánica, siendo así menor a 0,2 contaminantes de la naturaleza no biodegradables, y mayor a 0,6 contaminantes de la naturaleza biodegradables”. (Pramparo, 2016)

**Tabla 17***Relación DQO/DBO*

<b>Relación de DQO/DBO</b>		
DQO/DBO	= 1,5	Materia orgánica muy degradable
DQO/DBO	= 2	Materia orgánica moderadamente degradable
DQO/DBO	= 10	Materia orgánica poco degradable

*Nota:* La tabla refleja la relación de DQO/DBO. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: (Pramparo, 2016)

En el análisis de agua realizado obtuvimos un valor de DQO de 404 mg/L y de DBO 277,2 mg/L; dado como resultado de la relación un valor de 1,4574; es decir, que su materia orgánica es muy degradable.

El resultado obtenido luego de analizar dichos parámetros fue 1,4574 lo que indica seleccionar un tratamiento secundario convencional mediante sistemas biológicos, como lo establece Metcalaf y Eddy.

Además, se llegó a la conclusión de tomar en cuenta el método de lagunaje luego de una reunión técnica con los funcionarios del GAD de la parroquia.

Se determinó que este método presenta bajos costos de construcción, operación y mantenimiento. Presenta una alta remoción de materia orgánica y microorganismos patógenos, absorben los picos hidráulicos, cargas orgánicas y compuestos tóxicos, no presentan problemas en el manejo y disposición de lodos; eventualmente el agua tratada puede ser utilizada en agricultura y acuicultura.

### **3.6 Parámetros de Construcción**

El pre tratamiento se lo aplica para eliminar todo el material grueso que generalmente está flotando y que da impacto visual negativo. La función los pre tratamientos es retener la

mayor cantidad de sedimentos gruesos presentes en el agua los cuales pueden ocasionar problemas en los tratamientos posteriores (Garay, 2016).

### ***3.6.1 Pretratamiento***

#### **3.6.1.1 Cribado**

El cribado es un tratamiento preliminar cuyo objetivo principal es detener material pesado que es arrastrado con el agua residual. La criba tiene barrotes verticales o ligeramente inclinados, con una cierta separación entre ellos en función del tamaño del material a retener (Garay, 2016).

### ***3.6.2 Lagunas de Estabilización***

#### **3.6.2.1 Laguna Anaerobia**

Los parámetros de diseño más adecuados para lagunas anaerobias son la carga volumétrica y el tiempo de retención hidráulico. En estas lagunas se reduce la DBO, no existe actividad fotosintética.

La degradación se realiza a través de las bacterias formadoras de ácidos orgánicos y de bacterias metanogénicas. Estos productos de degradación ácida son sustrato para las bacterias metanogénicas, que convierten el material a metano y dióxido de carbono. (CONAGUA, 2007)

#### **3.6.2.2 Laguna Facultativa**

Las lagunas facultativas tienen una zona superficial, zona intermedia y zona de fondo. Esta laguna funciona en base a algas y su proliferación, remueve el nitrógeno, fósforo y materia orgánica; el sol es de gran ayuda ya que produce la remoción de coliformes con la ayuda de la temperatura y fotoxidación. (CONAGUA, 2007)

En estas lagunas no se producen olores y requieren de una gran área para su diseño.

### 3.6.2.3 Laguna de Maduración

En general, estas lagunas tienen una profundidad de 0.9 a 1.5 m. El tiempo de retención depende de la eficiencia de remoción de patógenos usando a los coliformes fecales como indicadores y la eliminación de nutrientes clarificando el efluente. (CONAGUA, 2007)

## 3.7 Cálculos y Diseño

### 3.7.1 Dosis Óptima de Coagulante

Para la determinación óptima de coagulante se realizó una dilución en donde la cantidad de soluto se mantiene, aumentando el volumen de la solución como se representa en la siguiente fórmula:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (1)$$

#### Donde:

$C_1$ = Concentración de la solución más concentrada

$V_1$ = Volumen de la solución más concentrada

$C_2$ = Concentración de la solución más diluida

$V_2$ = Volumen de la solución más concentrada

## 3.8 Porcentaje de Remoción

Luego de añadir el coagulante o floculante se determina la eficiencia de remoción de la turbidez, se expresa con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ remoción} = \frac{T_o - T_f}{T_o} * 100 \quad (2)$$

#### Donde:

$T_o$ = Turbidez inicial

$T_f$ = Turbidez final

### 3.9 Cálculo De La Población Futura

Para el cálculo de la población dentro de nuestra zona de estudio se empleó los datos del INEC del año 2001 y 2010.

Para el índice de crecimiento poblacional se utilizó la siguiente fórmula:

$$i = \sqrt[n]{\frac{Pf}{Po}} - 1 \quad (3)$$

$$f = Po(1 + i)^n \quad (4)$$

**Donde:**

Pf= Población final

Po= Población inicial

i= Tasa de crecimiento

n= Número de años

### 3.10 Cálculo De Caudal de Diseño

Se realizó la proyección del caudal necesario para el diseño de la laguna anaerobia utilizando la dotación con un valor de  $75 \left( \frac{L}{hab} * dia \right)$ , ya que la parroquia de Pastocalle es una zona de clima frío, y la población futura calculada anteriormente representado por la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{P \times D}{86400 \frac{s}{día}} * 0,80 \quad (5)$$

**Donde:**

Q= Caudal de diseño

P= Proyección de la población año 2046

D= Dotación

0,80= Coeficiente

### 3.11 Pretratamiento

#### 3.11.1 Cálculo de la Criba

Para el diseño de la criba nos basamos en las fórmulas tomadas del libro (Metcalf & Eddy, 1995) como se detalla a continuación:

$$h = \frac{1}{2g} \left( \frac{Q}{c * Ae} \right)^2 \quad (6)$$

**Donde:**

Q= Caudal  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

g= Gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

c= Coeficiente de descarga (adimensional)

Ae= Área específica ( $m^2$ )

El área específica se representa por la siguiente fórmula:

$$Ae = L * a \quad (7)$$

**Donde:**

L= Longitud (m)

a= Ancho (m)

➤ **Longitud**

$$L = \sqrt[3]{\frac{1,4142}{2g} \left( \frac{Q}{c * a} \right)^2} \quad (8)$$

➤ **Altura**

$$h = \frac{L}{1,4142} \quad (9)$$

➤ **Número de barrotos**

Para el cálculo del número de barrotos necesarios en la criba nos basamos en la tabla y la fórmula del libro (Romero, 1999) como se detalla a continuación:

**Tabla 18**

*Características de los barrotos*

<b>Características</b>	<b>Limpieza Manual</b>	<b>Limpieza Mecánica</b>
Ancho de las barras	0,5-1,5 (cm)	0,5-1,5 (cm)
Profundidad de las barras	2,5-7,5 (cm)	2,5-7,5 (cm)
Abertura	2,5-5,0 (cm)	1,5-7,5 (cm)
Pendiente con la vertical	30°-45°	0°-30°
Velocidad de acercamiento	0,3-0,6 (m/s)	0,6-1 (m/s)
Pérdida de energía permisible	15 (cm)	15 (cm)

*Nota:* La tabla refleja las características de los barrotos de los barrotos, de acuerdo a la limpieza que se va a realizar. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: (Romero, 1999).

$$n = \frac{a - t}{t + b} \quad (10)$$

**Donde:**

n= Número de barrotos (adimensional)

a= Ancho del canal (m)

t= Separación entre barras (cm)

b= Ancho de las barras (cm)

### **3.12 Diseño del Sistema de Lagunas**

#### **3.12.1 Laguna Anaeróbica**

Para las dimensiones de esta laguna se necesita calcular varios parámetros que se detallan a continuación:

Las fórmulas fueron tomadas del libro (Cortés et al., 2017).

➤ **Carga orgánica**

$$C.O = \frac{Q * DBO_5}{1000} \quad (11)$$

**Donde:**

Q= Caudal  $\left(\frac{m^3}{día}\right)$

DBO<sub>5</sub>= Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en la entrada del estanque  $\left(\frac{mg}{L}\right)$ .

1000= Factor de conversión

➤ **Carga volumétrica**

$$\lambda_v = 20 T - 100$$

**Donde:**

$\lambda_v$  = Carga Volumétrica

T= Temperatura

➤ **Remoción de DBO<sub>5</sub>**

La temperatura para este caso es de 10°C y se utiliza la siguiente fórmula:

$$\%DBO_5 \text{ removido} = 2T + 20 \quad (12)$$

➤ **Volumen de la laguna**

$$V = \frac{Li * Q}{\lambda v} \quad (13)$$

**Donde:**

Li= Concentración de la materia orgánica en la entrada del estanque  $\left(\frac{mg}{L}\right)$

Q= Caudal  $\left(\frac{m^3}{día}\right)$

$\lambda$ = Carga volumétrica  $\left(\frac{grDBO_5}{m^3 \times día}\right)$

➤ **Área de la laguna**

Se consideró una profundidad de 5m para el diseño de la laguna.

$$A = \frac{volumen}{profundidad} \quad (14)$$

**Donde:**

A= Área de la laguna

➤ **Tiempo de retención hidráulico**

$$tr = \frac{V}{Q} \quad (15)$$

**Donde:**

tR = Tiempo de retención (días)

V= Volumen

Q= Caudal

➤ **Concentración de la DBO<sub>5</sub> en el efluente de la laguna**

Para conocer el porcentaje de DBO<sub>5</sub> en el efluente de la laguna se realizó una interpolación, basándonos en la siguiente tabla:

**Tabla 19**

*Datos de remoción de DBO<sub>5</sub> en lagunas anaerobias*

Tiempo de referencia (días)	DBO <sub>5</sub> removido (%)
0,12	20
0,40	30
0,71	35
1,30	40
2,40	45
4,70	50
9,40	55

*Nota:* La tabla refleja el porcentaje de remoción de DQO<sub>5</sub> en relación al tiempo. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021. Tomado de: (Rolim, 2020).

2,40	45%
4,70	50%
<hr/>	
2,30	5%
0,37	x= 0,80

Para un tiempo de retención de 2,77 días el porcentaje de DBO<sub>5</sub> removido será de 40,41%

Para saber el valor de DBO<sub>5</sub> en el efluente de la laguna, se aplica la siguiente fórmula:

$$DBO_5 \text{ efluente} = ((100 - \%DBO\text{removido})/100) * DBO_5 \quad (16)$$

➤ **Gasto de efluente corregido por evaporación**

Para el presente cálculo se tomó en cuenta un valor de evaporación de 5,5 mm/día, representado en la siguiente fórmula:

$$Q_e = Q - 0,001 * \text{Área} * \text{Evaporación} \quad (17)$$

**Donde:**

$Q_e$ = Caudal del efluente  $\left(\frac{m^3}{día}\right)$

➤ **Remoción de coliformes fecales**

$$Kt \text{ (días}^{-1}\text{)} = 2,6 * (1,19)^{T-20} \quad (18)$$

**Donde:**

$Kt$ = Constante global de decaimiento ( $d^{-1}$ )

$T$ = Temperatura

➤ **Coliformes fecales en el efluente de la laguna**

$$N_e = \frac{N_i}{1 + Kt * t_R} \quad (19)$$

**Donde:**

$N_e$ = Coliformes fecales en la salida del estanque (NMP/100mL)

$N_i$ = Coliformes fecales en la entrada del estanque (NMP/100mL)

➤ **DBO<sub>5</sub> corregida para la evaporación**

Se utiliza los valores obtenidos anteriormente y se lo representa por la siguiente fórmula:

$$DBO_5 \text{ corr} = \frac{DBO_5 \text{ efluente} * Q}{Q_e} \quad (20)$$

**Donde:**

Q= Caudal  $\left(\frac{m^3}{día}\right)$

Qe= Caudal del efluente  $\left(\frac{m^3}{día}\right)$

DBO<sub>5</sub> corr= DBO<sub>5</sub> corregido

➤ **Coliformes fecales corregidos por evaporación**

$$Ne \text{ corr} = \frac{Ne * Q}{Q_e} \quad (21)$$

**Donde:**

Ne corr= Coliformes fecales corregidos

➤ **Dimensionamiento relación largo-ancho**

Se toma en cuenta un valor de x=2; y se representa con la siguiente fórmula:

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{\text{Área}}{x}} \quad (22)$$

**Donde:**

B<sub>prom</sub>= Ancho promedio de la laguna (m)

x= Relación largo-ancho

➤ **Longitud promedio**

$$L_{prom} = \frac{\text{Área}}{B} \quad (23)$$

**Donde:**

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

➤ **Ancho superior de la laguna**

Se considera un valor de talud 0:1; representado con la siguiente fórmula:

$$B_{sup} = B_{prom} + Z (\text{talud}) \quad (24)$$

**Donde:**

$B_{sup}$ = Ancho superior de la laguna (m)

$Z$ = Profundidad (m)

➤ **Largo superior de la laguna**

$$L_{sup} = L_{prom} + Z(\text{talud}) \quad (25)$$

**Donde:**

$L_{sup}$ = Largo superior de la laguna (m)

➤ **Área superficial**

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup} \quad (26)$$

➤ **Ancho inferior de la laguna**

$$B_{inf} = B_{prom} + Z(talud) \quad (27)$$

➤ **Largo inferior de la laguna**

$$L_{inf} = L_{prom} + Z(talud) \quad (28)$$

### 3.12.2 Diseño de la Laguna Facultativa

Para las dimensiones de la laguna facultativa se toma en cuenta los valores calculados previamente en la laguna anaerobia que se detallan a continuación:

Las fórmulas fueron tomadas del libro (Cortés et al., 2017.)

➤ **Carga orgánica**

$$CO = \frac{Q * DBO_5}{1000} \quad (29)$$

➤ **Carga superficial de diseño**

$$\lambda_s = 250 * (1,085)^{T-20} \quad (30)$$

**Donde:**

$\lambda_s$  = carga orgánica superficial  $\left(\frac{Kg DBO_5}{ha \times día}\right)$

T = temperatura media mensual

➤ **Área de laguna facultativa**

$$A_f = \frac{10 * DBO_5 \text{efluente} * Q_e}{\lambda_s} \quad (31)$$

➤ **Volumen de la laguna**

Para el cálculo del volumen se considera una profundidad de 1,5m a 1,8m. (Cortés et al., 2017.) Para este caso utilizamos una profundidad de 1,5m.

$$V = A_f * Z \quad (32)$$

**Donde:**

A<sub>f</sub>= Área superficial

Z= Profundidad

➤ **Tiempo de retención**

$$tr = \frac{V}{Q_e} \quad (33)$$

➤ **Dimensionamiento relación largo-ancho**

Se toma en cuenta un valor de x=3; y se representa con la siguiente fórmula:

$$B_{prom} = \sqrt{\frac{A_f}{x}} \quad (34)$$

**Donde:**

B<sub>prom</sub>= Ancho promedio de la laguna (m)

A<sub>f</sub>= Área superficial

x= Relación largo-ancho

➤ **Longitud promedio**

$$L_{prom} = \frac{Af}{B_{prom}} \quad (35)$$

➤ **Ancho superior de la laguna**

Se considera un valor de talud 2:1; representado con la siguiente fórmula:

$$B_{sup} = B_{prom} + Z (talud) \quad (36)$$

➤ **Largo superior de la laguna**

$$L_{sup} = L_{prom} + Z(talud) \quad (37)$$

➤ **Área superficial**

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup} \quad (38)$$

➤ **Ancho inferior de la laguna**

$$B_{inf} = B_{prom} - Z(talud) \quad (39)$$

➤ **Largo inferior de la laguna**

$$L_{inf} = L_{prom} - Z(talud) \quad (40)$$

➤ **Gasto del efluente corregido por evaporación**

$$Q_{e1} = Qe - 0.001 * Asup * Evaporación \quad (41)$$

➤ **Remoción de coliformes fecales**

La relación largo-ancho considerada es de  $x=3$ ; tomando en cuenta los valores de la longitud promedio y el ancho promedio. Dato necesario para calcular el coeficiente de dispersión, como se muestra en la siguiente fórmula:

**Coefficiente de dispersión**

$$d = \frac{x}{-0,26118 + 0,25392(x) + 1,0136x^2} \quad (42)$$

**Coefficiente de reducción bacteriana**

$$kb = 0,841 * (1,075)^{T-20} \quad (43)$$

**Constante “a”**

$$a = \sqrt{1 + 4kb * t_R * d} \quad (44)$$

➤ **Coliformes fecales en el efluente de la laguna**

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 * a * e^{(1-\frac{a}{2*d})}}{(1 + a)^2} \quad (45)$$

**Donde:**

$\frac{N_f}{N_o}$  = Coeficiente de coliformes fecales remanente en el efluente de la laguna

e= 2,7182818

➤ **Coliformes fecales corregidas por evaporación**

$$Ne_{corr1} = \frac{Ne \times Qe}{Qe1} \quad (46)$$

➤ **Concentración de la  $DBO_5$  en el efluente de la laguna y constantes para lagunas facultativas**

$$kf = \frac{1,2}{(1,085)^{35-T}} \quad (47)$$

➤ **Concentración  $DBO_5$  en el efluente de la laguna.**

$$DBO_e = \frac{DBO_{5corr}}{kf * t_R + 1} \quad (48)$$

➤ **Eficiencia de remoción de  $DBO_5$**

$$\% \text{ de remoción} = \frac{DBO_{5corr} - DBO_e}{DBO_{5corr}} * 100 \quad (49)$$

➤ **La  $DBO_5$  corregida por evaporación**

$$DBO_{5corr1} = \frac{DBO_5 * Qe}{Qe1} \quad (50)$$

### 3.12.3 Diseño de la Primera Laguna de Maduración

La PTAR debe contener lagunas de maduración; con ellas se busca reducir la concentración de coliformes fecales de acuerdo a los límites permisibles de la norma de descarga de efluentes. Para lo cual se detalla a continuación el diseño de las lagunas:

➤ **Volumen de la laguna**

$$V = Q_{e1} * tR \quad (51)$$

➤ **Área de la laguna**

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

$$Am1 = \frac{V}{Z} \quad (52)$$

**Donde:**

$Am1$  = Área en la primera laguna de maduración

➤ **Dimensionamiento de la laguna**

Para el dimensionamiento de la primera laguna de maduración se toma en cuenta los valores obtenidos en la laguna facultativa previamente calculados. Teniendo como el ancho promedio el valor de 36,32 m.

➤ **Longitud de la laguna**

$$L_{prom} = \frac{Am1}{B_{prom}} \quad (53)$$

➤ **Ancho superior de la laguna**

Se considera un valor de talud 2:1; representado con la siguiente fórmula:

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

➤ **Largo superior de la laguna**

$$L_{sup} = L_{prom} + Z(talud) \quad (54)$$

➤ **Área superficial**

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup} \quad (55)$$

➤ **Ancho inferior de la laguna**

$$B_{inf} = B_{prom} - Z(talud) \quad (56)$$

➤ **Largo inferior de la laguna**

$$L_{inf} = L_{prom} - Z(talud) \quad (57)$$

➤ **Gasto del efluente corregido por la evaporación**

$$Qe2 = Qe1 - 0,001 * Asup * evaporación \quad (58)$$

➤ **Remoción de coliformes fecales**

La relación largo-ancho considerada es de  $x=2$ ; tomando en cuenta los valores de la longitud promedio y el ancho promedio. Dato necesario para calcular el coeficiente de dispersión, como se muestra en la siguiente fórmula:

**Coefficiente de dispersión**

$$d = \frac{x}{-0,26118 + 0,25392(x) + 1,0136(x)^2} \quad (59)$$

**Coefficiente de reducción bacteriana**

$$kb = 0,841 * (1,075)^{T-20} \quad (60)$$

**Constante “a”**

$$a = \sqrt{1 + 4 * kb * tR * d} \quad (61)$$

➤ **Coliformes fecales en el efluente de la laguna.**

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 * a * e^{\left[\frac{(1-a)}{(2*d)}\right]}}{(1 + a)^2} \quad (62)$$

➤ **Coliformes fecales corregidos por evaporación**

$$Ne_{corr2} = \frac{Ne * Qe1}{Qe2} \quad (63)$$

➤ **Concentración de la DBO5 en el efluente de la laguna**

$$Kf = \frac{1,2}{(1,085)^{35-T}} \quad (64)$$

➤ **Concentración de DBO en el efluente de la laguna y la constante para las lagunas**

$$DBO_e = \frac{DBO_{corr1}}{Kf * tR + 1} \quad (65)$$

➤ **Eficiencia de remoción de DBO5**

$$\% \text{ de remoción} = \frac{DBO_{5corr1} - DBO_e}{DBO_{5corr1}} * 100 \quad (66)$$

➤ **La DBO<sub>5</sub> corregida por evaporación**

$$DBO_{5corr2} = \frac{DBO_e * Qe1}{Qe2} \quad (67)$$

### 3.12.4 Diseño de la Segunda Laguna de Maduración

➤ **Volumen de la laguna**

$$V = Qe2 * tR \quad (68)$$

➤ **Área de la laguna**

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

$$Am2 = \frac{V}{Z} \quad (69)$$

**Donde:**

$Am2$ = Área en la segunda laguna de maduración

➤ **Dimensionamiento de la laguna**

Para el dimensionamiento de la primera laguna de maduración se toma en cuenta los valores obtenidos en la laguna facultativa previamente calculados. Teniendo como el ancho promedio el valor de 36,32 m.

➤ **Longitud de la laguna**

$$Lprom = \frac{Am2}{Bprom} \quad (70)$$

➤ **Ancho superior de la laguna**

Se considera un valor de talud 2:1; representado con la siguiente fórmula:

$$Bsup = Bprom + Z (talud) \quad (71)$$

➤ **Largo superior de la laguna**

$$Lsup = Lprom + Z(talud) \quad (72)$$

➤ **Área superficial**

$$A_{sup} = B_{sup} * L_{sup} \quad (73)$$

➤ **Ancho inferior de la laguna**

$$B_{inf} = B_{prom} - Z(talud) \quad (74)$$

➤ **Largo inferior de la laguna**

$$L_{inf} = L_{prom} - Z(talud) \quad (75)$$

➤ **Gasto del efluente corregido por la evaporación**

$$Q_{e3} = Q_{e2} - 0,001 * A_{sup} * evaporación \quad (76)$$

➤ **Remoción de coliformes fecales**

La relación largo-ancho considerada es de  $x=1,89$ ; tomando en cuenta los valores de la longitud promedio y el ancho promedio. Dato necesario para calcular el coeficiente de dispersión, como se muestra en la siguiente fórmula:

**Coefficiente de dispersión**

$$d = \frac{1,897}{-0,26118 + 0,25392(x) + 1,0136(x)^2} \quad (77)$$

**Coefficiente de reducción bacteriana fórmula sugerida por ZANG en el año 1984**

$$kb = 0,841 * (1,075)^{T-20} \quad (78)$$

**Constante “a”**

$$a = \sqrt{1 + 4 * kb * tR * d} \quad (79)$$

➤ **Coliformes fecales en el efluente de la laguna.**

$$\frac{Nf}{No} = \frac{4 * a * e^{\left[\frac{(1-a)}{(2*d)}\right]}}{(1 + a)^2} \quad (80)$$

$$Necorr3 = \frac{Nf}{No} * Necorr2 \quad (81)$$

➤ **Coliformes fecales corregidos por evaporación**

$$Ne \text{ corr}3 = \frac{Ne * Qe2}{Qe3} \quad (82)$$

➤ **Concentración de la DBO5 en el efluente de la laguna y constante para las lagunas**

$$Kf = \frac{1,2}{(1,085)^{35-T}} \quad (83)$$

➤ **Concentración de DBO5 en el efluente de la laguna**

$$DBO_e = \frac{DBO_{corr2}}{Kf * tR + 1} \quad (84)$$

➤ **Eficiencia de remoción de DBO5**

$$\% \text{ de remoción} = \frac{DBO_{5corr2} - DBO_e}{DBO_{5corr2}} * 100 \quad (85)$$

➤ **Entonces la reducción de la DBO5 es:**

$$\text{Eficiencia de remocion} = 100\% - 39,06\% \quad (86)$$

➤ **La DBO5 corregida por evaporación**

$$DBO_{5corr3} = \frac{DBO_5 * Qe2}{Qe3} \quad (87)$$

### 3.13 Análisis Económico y Técnico

Para el análisis económico y técnico del diseño de la PTAR para la parroquia San Juan de Pastocalle, se tomó en cuenta los costos de construcción y operación de la misma.

#### 3.13.1 Costos de Inversión

El GAD de la parroquia San Juan de Pastocalle cuenta con el espacio físico para la implantación de la PTAR, es decir, que solo se tomará en cuenta para los costos de inversión en este estudio, el pretratamiento el cual consta de un sistema de cribado o rejillas como primera operación unitaria y de un sistema de lagunaje, conformado por una laguna anaerobia, una laguna facultativa y dos lagunas de maduración, con un total de 251496,02. Los valores que se detallan a continuación son en base a cotizaciones realizadas a varias empresas de acuerdo a lo necesario para la implantación de la planta de tratamiento de agua residual.

**Tabla 20***Costos de inversión*

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO	CANTIDA D	TOTAL
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				
Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m <sup>2</sup>	1,19	18200	<b>21658</b>
<b>DESALOJOS</b>				
Desalojo a máquina con equipo pesado	m <sup>3</sup>	2,7	13222	<b>35699</b>
<b>MOVIMIENTOS DE TIERRAS</b>				
Excavación H=3 A 4 m con equipo pesado	m <sup>3</sup>	5,81	807	<b>4688,67</b>
<b>RELLENOS</b>				
Compactado con suelo natural	m <sup>2</sup>	4,58	9281	<b>42506,98</b>
<b>ACERO</b>				
Acero de refuerzo FY= 4200 Kg/cm <sup>2</sup> 12 mm a 20 mm	Kg	1,67	1400	<b>2338</b>
Elaboración y colocación de rejillas con varillas de acero inoxidable ø 16 mm	U	482,55	3	<b>1447,65</b>
<b>METÁLICO</b>				
Encofrado/desencofrado metálico tipo RENTECO	m <sup>2</sup>	6,69	95	<b>635,55</b>
<b>CANALIZACIÓN</b>				
Excavación de zanjas a máquina en tierra H= 0-2.75 m	m <sup>3</sup>	3,56	200	<b>712</b>
Tubería PVC u/e 200 mm 1.25 MPA	m	60	200	<b>12000</b>
<b>GEOTEXTIL</b>				

Instalación de Geomembrana Polietileno de alta densidad	m <sup>2</sup>	2,17	9281	<b>20139,77</b>
<b>OBRA DE EDIFICACIÓN</b>				
Construcción de la zona administrativa	m <sup>2</sup>	800	95	<b>76000</b>
Limpieza final de la obra	m <sup>2</sup>	1,85	18200	<b>33670</b>
<b>TOTAL</b>				<b>251496,02</b>

*Nota:* Esta tabla detalla el costo del diseño de la PTAR. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

### 3.13.2 Costo de agua tratada por metro cúbico

#### ➤ Costo de agua tratada por metro cúbico

Para calcular el costo de agua tratada por metro cúbico se tomó en cuenta los datos obtenidos en la prueba de jarras realizada en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana. La dosis óptima de coagulante obtenido en este análisis es de 0,16 g/L de sulfato de aluminio, el mismo que tiene un costo de 0,80 ctvs. por cada kilogramo.

$$\text{dosis óptima de coagulante} = 0,16 \frac{g}{L} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{1L}{0,001 m^3}$$

$$\text{dosis óptima de coagulante} = 0,16 \frac{kg}{m^3}$$

El valor total de agua tratada por metro cúbico es de 0,13 \$/m<sup>3</sup> como se lo representa a continuación:

$$\text{Costo de agua tratada} = 0,16 \frac{Kg}{m^3} * 0,80 \frac{\$}{Kg}$$

$$\text{Costo de agua tratada} = 0,13 \frac{\$}{m^3}$$

### ***3.13.3 Análisis Social***

Para el presente proyecto se concretó con la licenciada Nancy Iza, presidenta del GAD parroquial una primera visita al sitio de estudio, con la finalidad de conocer la situación actual de la parroquia. Posteriormente en otra visita se formalizó la socialización del proyecto a todos los que conforman el GAD parroquial, recibiendo una respuesta favorable para el desarrollo del mismo (véase Anexo 6 y 13)

Las aguas residuales producidas en la parroquia tienen como disposición final el Río Blanco. Se presenció que los animales del sector consumen esa agua contaminada, ocasionando en ellos varias enfermedades y como consecuencia también en las personas que consumen dichos alimentos provenientes de estos animales; además existe contaminación visual por la acumulación de basura, presencia de roedores e insectos, y mal olor en la zona. Es por ello que se realizó la propuesta del diseño de una PTAR para la zona central de la parroquia San Juan de Pastocalle, ya que ahí se encuentra la mayor cantidad de habitantes. Se hizo hincapié en el “sumak kawsay” que se menciona en la constitución de la República del Ecuador garantizando un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Al terminar el proyecto se realizó nuevamente una socialización con el GAD parroquial, dando a conocer el diseño, costos y la mejor alternativa en el caso de implantar la PTAR en la parroquia. El GAD parroquial quedó de acuerdo con el proyecto y la propuesta planteada, en donde nuestra responsabilidad fue entregar los planos respectivos y el análisis técnico y socioeconómico del proyecto (véase Anexo 12 y 14).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Resultados

#### 4.1.1 Parámetros in situ

Los parámetros in situ medidos en el lugar de estudio se detallan a continuación:

**Tabla 21**

*Resultados in situ*

NÚMERO DE MEDICIONES	PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	FECHA/ HORA
1	pH	8,20		20-02-2021 7:00 AM
	Temperatura	19,5	°C	20-02-2021 7:00 AM
	Turbidez	245,4	NTU	20-02-2021 7:00 AM
	Oxígeno Disuelto	1,70	mg/L	20-02-2021 7:00 AM
	2	pH	8,35	
Temperatura		20,5	°C	20-02-2021 19:00 PM
Turbidez		250,2	NTU	20-02-2021 19:00 PM
Oxígeno Disuelto		1,66	mg/L	20-02-2021 19:00 PM

*Nota:* Esta tabla detalla cada uno de los valores obtenidos en las dos mediciones realizadas mediante instrumentos apropiados. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### 4.1.2 Parámetros Químicos

Los parámetros químicos fueron analizados en el laboratorio certificado LASA; y se detallan a continuación:

**Tabla 22***Resultados de parámetros químicos*

ÍTEM	PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADOS	VALORES DE REFERENCIA
1	Aceites y Grasas	mg/L	PEE-LASA-FQ- 15 APHA 5520 B	<20	30
2	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	PEE-LASA-FQ- 07 APHA 5210 B	277,2	100
3	Demanda química de oxígeno	mg/L	PEE-LASA-FQ- 04B APHA 5220 B	404	200
4	Fósforo total	mg/L	PEE.LASA.FQ.09c APHA 4500-P B y E	9,35	10
5	Nitratos	mg/L	PEE.LASA.FQ.23c APHA 4500-NO3- B	19,1	-
6	Nitritos	mg/L	PEE.LASA.FQ.54c APHA 4500-NO2- B	<0,02	-

*Nota:* En esta tabla observamos los valores de los parámetros químicos medidos en el laboratorio Lasa.  
Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### **4.1.3 Parámetros Microbiológicos**

Los parámetros microbiológicos fueron analizados en el laboratorio certificado LASA;  
y se detallan a continuación:

**Tabla 23***Resultados de los parámetros microbiológicos*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADOS</b>
Coliformes fecales, fermentación en tubo	NMP/100mL	PEE.LASA.MB.27 APHA 9221 F, Ed. 23, 2017	92x10 <sup>5</sup>

*Nota:* En esta tabla observamos los valores de los parámetros microbiológicos medidos en el laboratorio Lasa. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

#### **4.1.4 Sólidos en el Agua**

##### **4.1.4.1 Sólidos Totales**

Los sólidos totales se analizaron en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, y se detallan a continuación:

**Tabla 24***Resultados de sólidos totales en el AR*

<b>NÚMERO DE MUESTRA</b>	<b>FECHA DE ANÁLISIS</b>	<b>ST (mg/L)</b>
Muestra 1	08/06/2021	750
Muestra 2	08/06/2021	780
Muestra 3	08/06/2021	790
Muestra 4	08/06/2021	810
<b>Promedio de las muestras</b>	08/06/2021	782,5

*Nota:* En esta tabla observamos los valores de los sólidos totales realizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

##### **4.1.4.2 Sólidos Sedimentables**

Los sólidos sedimentables se analizaron en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, y se detallan a continuación:

**Tabla 25***Resultados de sólidos sedimentables en el AR*

NÚMERO DE MUESTRA	FECHA DE ANÁLISIS	SSed (mL/L)
Muestra 1	08/06/2021	3,2
Muestra 2	08/06/2021	3,4
Muestra 3	08/06/2021	3,8
Muestra 4	08/06/2021	4,0
<b>Promedio de las muestras</b>	08/06/2021	3,6

*Nota:* En esta tabla observamos los valores de los sólidos sedimentables realizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

#### **4.1.5 Prueba de Jarras**

La prueba de jarras se analizó en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, como se muestra a continuación:

**Tabla 26***Resultados de la prueba de jarras*

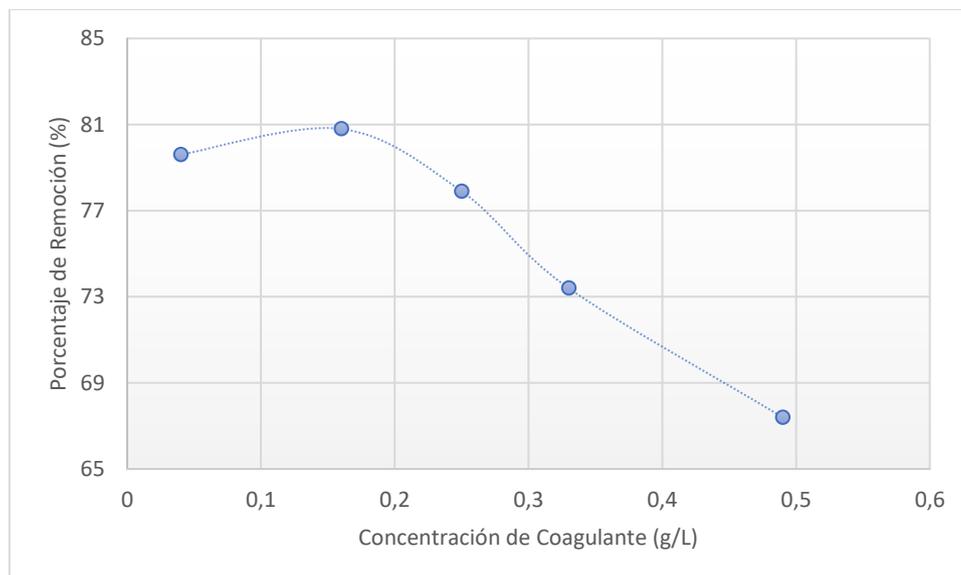
Concentración del coagulante (g/L)	Inicial		Final		% de Remoción
	pH	Turbidez (NTU)	pH	Turbidez (NTU)	
0,03	8,2	200	8	40,2	79,9
0,04	8,3	195,3	7,9	39,8	79,6
0,16	7,9	201,3	7,6	38,7	80,8
0,25	8,1	165,8	7,8	39,6	76,1
0,33	8	189,4	7,8	50,4	73,4
0,49	7,7	165,2	7,6	53,8	67,4

*Nota:* En esta tabla se observa los valores de la prueba de jarras realizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

En base a los resultados obtenidos se establece que la dosis óptima del coagulante es de 0,16 g/L de Sulfato de Aluminio logrando un porcentaje de remoción del 80,8% y se lo representa mediante la siguiente gráfica:

## Figura 6

### Porcentaje de remoción VS Concentración de coagulante



*Nota:* En la figura se visualiza el porcentaje de remoción en base a la concentración de coagulante utilizado. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### 4.1.6 Pretratamiento

##### 4.1.6.1 Diseño de la Criba

Para el diseño de la criba fue necesario el caudal de diseño, coeficiente de descarga, asumiendo el ancho de 1 metro, y se detalla a continuación:

**Tabla 27**

*Resultados del diseño de la criba*

PARÁMETROS	SIMBOLOGÍA	VALOR	UNIDADES
Longitud	L	0,48	m
Altura	h	0,32	m
Ancho	a	1	m
Número de barrotes	n	24	(adimensional)

*Nota:* Tabla resumen del diseño de Criba. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

#### 4.1.7 Sistema de Lagunaje

##### 4.1.7.1 Laguna Anaerobia

En la siguiente tabla se representa los resultados obtenidos para el diseño de la laguna Anaerobia:

**Tabla 28***Resultados del Diseño de la laguna anaerobia*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal de diseño	Q	291,17	m <sup>3</sup> /día
Profundidad	Z	5	m
Volumen de la laguna	V	807,12	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	tr	2,77	días
Área promedio	A	161,42	m <sup>2</sup>
Relación largo-ancho	x	2	–
Talud	–	0:1	–
Ancho promedio	Bprom	8,98	m
Longitud promedio	Lprom	17,97	m
Ancho superior	Bsup	8,98	m
Longitud superior	Lsup	17,97	m
Área superficial	Asup	161,37	m <sup>2</sup>
Ancho inferior	Binf	8,98	m
Longitud inferior	Linf	17,97	m

*Nota:* Tabla resumen del diseño de la laguna anaerobia. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### **4.1.7.2 Laguna Facultativa**

En la siguiente tabla se representa los resultados obtenidos para el diseño de la laguna facultativa, partiendo de los valores del diseño de la laguna anaerobia:

**Tabla 29***Resultados del diseño de la laguna facultativa*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal de diseño	Q	291,17	m <sup>3</sup> /día
Profundidad	Z	1,5	m
Volumen de la laguna	V	5934,51	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	tr	20,44	días
Área promedio	A	3956,34	m <sup>2</sup>
Relación largo-ancho	x	3	–
Talud	–	2:1	–

Ancho promedio	Bprom	36,32	m
Longitud promedio	Lprom	108,95	m
Ancho superior	Bsup	39,32	m
Longitud superior	Lsup	111,95	m
Área superficial	Asup	4401,12	m <sup>2</sup>
Ancho inferior	Binf	33,32	m
Longitud inferior	Linf	105,95	m

*Nota:* Tabla resumen del diseño de la laguna facultativa. Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### 4.1.7.3 Primera Laguna de Maduración

En la siguiente tabla se representa los resultados obtenidos para el diseño de la primera laguna de maduración, partiendo de los valores obtenidos anteriormente:

**Tabla 30**

*Resultados del diseño de la primera laguna de maduración*

PARÁMETROS	SIMBOLOGÍA	VALOR	UNIDADES
Caudal de diseño	Qe1	266,07	m <sup>3</sup> /día
Profundidad	Z	1	m
Volumen de la laguna	V	2660,74	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	tr	10	días
Área promedio	Am	2660,74	m <sup>2</sup>
Talud	–	2:1	–
Ancho promedio	Bprom	36,32	m
Longitud promedio	Lprom	73,25	m
Ancho superior	Bsup	38,32	m
Longitud superior	Lsup	75,26	m
Área superficial	Asup	2883,90	m <sup>2</sup>
Ancho inferior	Binf	34,32	m
Longitud inferior	Linf	71,26	m

*Nota:* Tabla resumen del diseño de la primera laguna de maduración Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021.

#### 4.1.7.4 Segunda Laguna de Maduración

**Tabla 31**

*Resultados del diseño de la segunda laguna de maduración*

PARÁMETROS	SIMBOLOGÍA	VALOR	UNIDADES
Caudal de diseño	Qe2	250,23	m <sup>3</sup> /día
Profundidad	Z	1	m
Volumen de la laguna	V	2502,13	m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	tR	10	días
Área promedio	Am2	2502,13	m <sup>2</sup>
Talud	–	2:1	–
Ancho promedio	Bprom	36,32	m
Longitud promedio	Lprom	68,90	m
Ancho superior	Bsup	38,32	m
Longitud superior	Lsup	70,90	m
Área superficial	Asup	2716,56	m <sup>2</sup>
Ancho inferior	Binf	34,32	m
Longitud inferior	Linf	66,90	m

*Nota:* Tabla resumen del diseño de la segunda laguna de maduración Elaborado por: Andrade J., Carrasco V., 2021

#### 4.2 Discusión

El proyecto se realizó en la zona central de la parroquia San Juan de Pastocalle ubicada en la provincia de Cotopaxi; cuyo objetivo fue el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y determinar las propiedades físico químicas y microbiológicas para su dimensionamiento.

Como menciona (Metcalf y Eddy, 1995) es importante un proceso de estabilización para reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción.

Para conocer las características actuales en las que se encuentra el agua de la zona de estudio; se analizó varios parámetros presentes en el agua como: turbidez, pH, temperatura,

oxígeno disuelto, DBO, DQO, aceites y grasas, fósforo, nitritos, nitratos, coliformes fecales, y sólidos.

Según (Pramparo, 2016) para determinar un tratamiento adecuado en el diseño de la PTAR se calculó el índice de biodegradabilidad, es decir, la relación de DQO/DBO; en donde se obtiene un valor de 1,4574 siendo así que su materia orgánica es muy degradable.

(Metcalf y Eddy, 1995) indica que se puede realizar un sistema de tratamiento secundario convencional en base a nuestro resultado obtenido en el estudio.

Se estableció el diseño de un sistema de lagunaje que consta de una laguna anaerobia, una laguna facultativa y dos lagunas de maduración, ya que no requieren de recursos energéticos y se logra una alta eficiencia. Para el diseño de este sistema nos basamos como referencia bibliográfica en Cortés et al. (2017)

Como pretratamiento se realizó un sistema de cribado para retener sólidos de gran tamaño que arrastra el agua residual como lo establece (Garay, 2016). No fue necesario el diseño de una trampa de grasas en este proyecto ya que el análisis de ese parámetro nos dio un valor menor a 20 mg/L el cual está dentro de los límites permisibles que se establece en el (TULSMA, 2015) en el acuerdo ministerial 097 A, de calidad ambiental y de descarga de efluentes.

Posterior a los cálculos de diseño todos los parámetros se encuentran en el rango de límites permisibles. A su vez se logró una alta remoción de los coliformes fecales iniciales el cual tenía un valor de  $92 \times 10^5$  NMP/100mL y se redujo a 723,91 NMP/100mL. En cuanto a la DBO<sub>5</sub> inicial se tenía un valor de 277,2 mg/L y luego del tratamiento se obtuvo un valor de 6,76 mg/L; es decir, que el diseño del tratamiento secundario elegido en este proyecto funciona correctamente, logrando así reducir la carga de los contaminantes presentes en el agua previamente a su descarga.

De acuerdo al análisis técnico, social y económico, al implantar la planta de tratamiento de agua residual en la parroquia San Juan de Pastocalle se garantiza a los habitantes un

ambiente sano y ecológicamente equilibrado. El costo de la planta alcanzará un monto aproximado de \$251496,02 y un costo de tratamiento por metro cúbico de agua tratada de 0,13 ctvs., los cuales son aceptables para una posterior construcción de la planta de tratamiento de agua residual en la parroquia.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

Se diseñó la planta de tratamiento de agua residual en la parroquia San Juan de Pastocalle provincia de Cotopaxi, con la finalidad de tratar las aguas servidas de la población central; la cual consta de un sistema de cribado como pretratamiento el cual va conectado a un sistema de lagunaje; para la remoción de los contaminantes presentes en el agua.

Se realizó el análisis de los parámetros físico químicos y microbiológicos presentes en el agua residual de la zona central de la parroquia, lo cual nos permitió conocer la calidad del agua del sector para establecer el tratamiento adecuado de esa agua previo a su descarga final.

Una vez que se determinó los parámetros físico químicos y microbiológicos presentes en el agua residual en la zona central de la parroquia San Juan de Pastocalle se realizó el diseño de cada una de las unidades de la planta de tratamiento de las aguas residuales. Las dimensiones y características son parte central de la presente disertación de grado.

Con el presente proyecto se creó un estudio sostenible, económico, técnico y social permitiendo la mejora de la calidad de vida de la cadena trófica que se ve afectada. Con el tratamiento utilizado se logró reducir notablemente la cantidad de DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales presentes en el agua residual, logrando así valores dentro de la normativa vigente en el Ecuador.

Se llevó a cabo la socialización del proyecto a los encargados del GAD parroquial, los cuales disponen del terreno necesario para la implantación de la planta de tratamiento de agua residual.

### **5.2 Recomendaciones**

En el caso de construir la planta de tratamiento de agua residual en la parroquia se debe realizar un estudio de factibilidad tomando en cuenta diversos factores físicos como la dirección del viento y un estudio topográfico para conocer el estado actual del terreno y que la planta se encuentre alejado de los habitantes de la parroquia evitando molestias y malos olores.

Se recomienda realizar mantenimientos entre 2 años a 5 años para evitar desperfectos, asegurando el funcionamiento y la eficiencia de la planta.

La parroquia San Juan de Pastocalle es considerada una zona agrícola y sus tierras son usadas para la producción de flores por lo cual se propone la utilización del agua tratada para riego, reduciendo el costo y consumo de agua en el sector; aprovechando al máximo este recurso.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, L. (5 de agosto de 2006). *Redalyc*. Obtenido de Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf>
- Acuerdo Ministerial 061. (4 de mayo de 2015). *Faolex*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>
- Aguilar, M. (5 de junio de 1987). *Análisis de Agua-Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas*. Obtenido de Secretaría de economía: <https://aniq.org.mx/Pqta/pdf/NMX-AA-quimicosgpo2.pdf>
- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el analisis de aguas potables*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Aqualia. (14 de diciembre de 2021). *Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo II)*. Obtenido de Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo II): <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii>
- CIDTA. (9 de enero de 2013). *Universidad de Salamanca*. Obtenido de Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agua: [https://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/Conceptos/uni\\_04/u5c2s1.htm#Anchor1](https://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/Conceptos/uni_04/u5c2s1.htm#Anchor1)
- Código Orgánico del Ambiente. (12 de abril de 2017). *Lexis*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19175/1/UPS%20-%20TTS116.pdf>
- CONAGUA. (SD de Diciembre de 2007). *Manual de agua potable, diseño de lagunas de estabilización*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenodeLagunasDeEstabilizacion.pdf>

- Constitución de la República del Ecuador. (20 de octubre de 2008). *Lexis*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- Cortés , F., Treviño, A., & Tomasini, A. (2017). *Dimencionamiento de laguna de estabilización*. (G. A. Ocampo, Ed.) México: AM Editores. Recuperado el 10 de Mayo de 2021
- Cyclus. (20 de marzo de 2020). *Oxidación avanzada*. Obtenido de Oxidación avanzada: <https://www.cyclusid.com/>
- Espigares, M., & Pérez , J. (23 de marzo de 1985). *StuDocu*. Obtenido de Aguas Residuales. Composición: <https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-cordoba-colombia/procesos-unitarios/informe/aguas-residuales-composicion-libro/7477631/view>
- Espinoza García, A. C., Arias Ortiz, C. F., & Mazari Hiriart, M. (11 de julio de 2004). *Scielo*. Obtenido de Virus en sistemas acuáticos e implicaciones en salud pública: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972004000200011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972004000200011)
- Fenández Cirelli, A. (diciembre de 2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 148. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Garay, M. M. (2016). *TRatamiento de Aguas Residuales: Técnicas Convencionales* (Segunda Edición ed.). Guayaquil: EMSABA EP. doi:978-9942-13-872-9
- Gil, M. (1998). DBO en Efluentes con Productos Xenobióticos. *Ingeniería del Agua*, 47.
- Giordani, S., Gonzáles, L., Morales, A., Quijano, J., & Tejada, A. (2008). Factibilidad del uso de polímeros para la clarificación del agua potable en la ciudad de México. *Científica juvenil*, 102-103. Obtenido de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/creando/article/download/1655/1617#:~:text=E>

valuaci% C3% B3n% 20de% 20la% 20calidad% 20de,% 2C% 20de% 20los% 20% E2% 80  
% 9Cflocs% E2% 80% 9D.

Hernandez, L. J., Garcia , H., De la Hoz, F., & Ochoa, M. T. (18 de marzo de 2012). *Convenio Cooperación técnica No.485/10*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud:  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/impacto-olores-ofensivos-salud.pdf>

Hidritec. (2 de enero de 2020). *Tratamiento de aguas residuales y disminución de DQO*. Obtenido de Tratamiento de aguas residuales y disminución de DQO:  
<http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo#:~:text=La%20DQO%20o%20Demanda%20Qu%C3%ADmica,presente%20en%20un%20agua%20residual.&text=Otro%20tipo%20de%20procesos%20a,en%20ausencia%20total%20de%20ox%C3%ADgeno>.

Lenntech. (15 de septiembre de 2020). *Lenntech*. Obtenido de Eliminación del fósforo del agua residual:  
<https://www.lenntech.es/eliminacion-del-fosforo#:~:text=El%20f%C3%B3sforo%20en%20el%20agua,y%20el%20resto%20es%20inorg%C3%A1nico.&text=La%20contribuci%C3%B3n%20individual%20del%20f%C3%B3sforo,media%20de%20unos%202.18%20g>.

Ley Orgánica de Salud. (22 de Diciembre de 2006). *Lexis*. Obtenido de  
<https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf>

López Vázquez, C. M., Buitrón Méndez, G., A García , H., & Cervantes Carrillo, F. J. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales : principios, modelación y diseño*. London : IWA Publishing. Obtenido de  
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/upsal/detail.action?docID=5188465>.

- Marín, R. (2017). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Córdoba: EMACSA.
- Méndez, L., Carrasco, N., Cotrado, M., Miyashiro, V., & Rojas, R. (2004). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala de laboratorio. *Instituto de investigación FIGMMG*, 74.
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales. En M. & Eddy, *Ingeniería de aguas residuales* (págs. 53-59). Madrid: McGraw-Hill.
- Muñoz, A. (20 de junio de 2008). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Obtenido de Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/Caracterizacion%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf;jsessionid=8B1EFD07BDE0390097671FA37A8A60B4?sequence=1>
- PDOT de Latacunga, E. t. (1 de Enero de 2016). *GAD de Latacunga*. Obtenido de Latacunga: [http://latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT\\_Latacunga\\_2016-2028.pdf](http://latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga_2016-2028.pdf)
- PDOT de Pastocalle, E. t. (10 de enero de 2015). *GAD Parroquial Pastocalle*. Obtenido de GAD Parroquial Pastocalle: <https://pastocalle.gob.ec/cotopaxi/>
- Peña, E. (27 de junio de 2007). *Escuela Superior Politécnica del Litoral*. Obtenido de Calidad de agua: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>
- Pino, V. (31 de enero de 2020). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de Procesos de Oxidación Avanzada: <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/233-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/1509-oxidacion?Itemid=437>
- Pramparo, L. (23 de Agosto de 2016). *Triton Cyted*. Obtenido de Introduccion a la problemática de las aguas residuales industriales y su tratamiento: <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2016/03/1-Introducci%C3%B3n.pdf>

- Ramalho, R. (2008). *Introduction to wastewater treatment processes*. Canada : ACADEMIC PRESS, INC LONDON. Obtenido de <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=PA1&dq=LIBRO+DE+TRATAMIENTO+DE+aguas+residuales&ots=ODpaHRkFmb&sig=7XfjRnSbc7LtZb6-rbKgGZWjAME#v=onepage&q&f=falsehttps://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=30etGjzPXyWC&oi=fnd&pg=P>
- Reutelshöfer, T., & Guzmán, L. (20 de febrero de 2015). *Bivica*. Obtenido de Guía para la toma de muestras de agua residual: [https://www.bivica.org/files/5376\\_aguas-residuales-muestra.pdf](https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf)
- Rodriguez, C. (15 de octubre de 2018). *HIDROTEC*. Obtenido de HIDROTEC: <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>
- Rolim, S. (sd de enero de 2020). *CIDBIMENA*. Obtenido de <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Febrero2006/CD-2/pdf/spa/doc13030/doc13030-1.pdf>
- Romero, J. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales. En J. Romero Rojas, *Teoría y principios de diseño* (págs. 72-76). Bogotá: Lemoine.
- Sánchez, Á. (2006). *AGUA: UN RECURSO ESCASO*. Sevilla: ArCiBel Editores. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=kOSe7Rj9c1sC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Sanchón , M. (25 de octubre de 2008). *Universidad de Cantabria*. Obtenido de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/965/course/section/1090/Contaminacion%2520de1%2520agua.pdf>
- TECPA. (9 de noviembre de 2018). *Tratamientos secundarios en depuración de aguas residuales*. Obtenido de Los microorganismos en el tratamiento secundario de las aguas

residuales: <https://www.tecpa.es/edar-tratamiento-secundario-depuracion-aguas/#:~:text=El%20tratamiento%20secundario%2C%20tambi%C3%A9n%20denominado,biodegradables%20o%20f%C3%A1ciles%20de%20retirar.>

Toapanta, M. (7 de enero de 2019). *Calidad de agua*. Obtenido de Grasas y aceites: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6161/8/GRASASYACEITES.pdf>

Torres, A. (19 de diciembre de 2020). *A-21 granada*. Obtenido de Análisis de Aguas Residuales: [http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion\\_ANTONIO.pdf](http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf)

Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *EIA*, 115-129.

Torske, M. (29 de junio de 2019). *Yakunina*. Obtenido de La realidad de las aguas servidas en Ecuador: <http://www.yakunina.com/la-realidad-de-las-aguas-servidas-en-ecuador/>

TULSMA. (4 de Noviembre de 2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

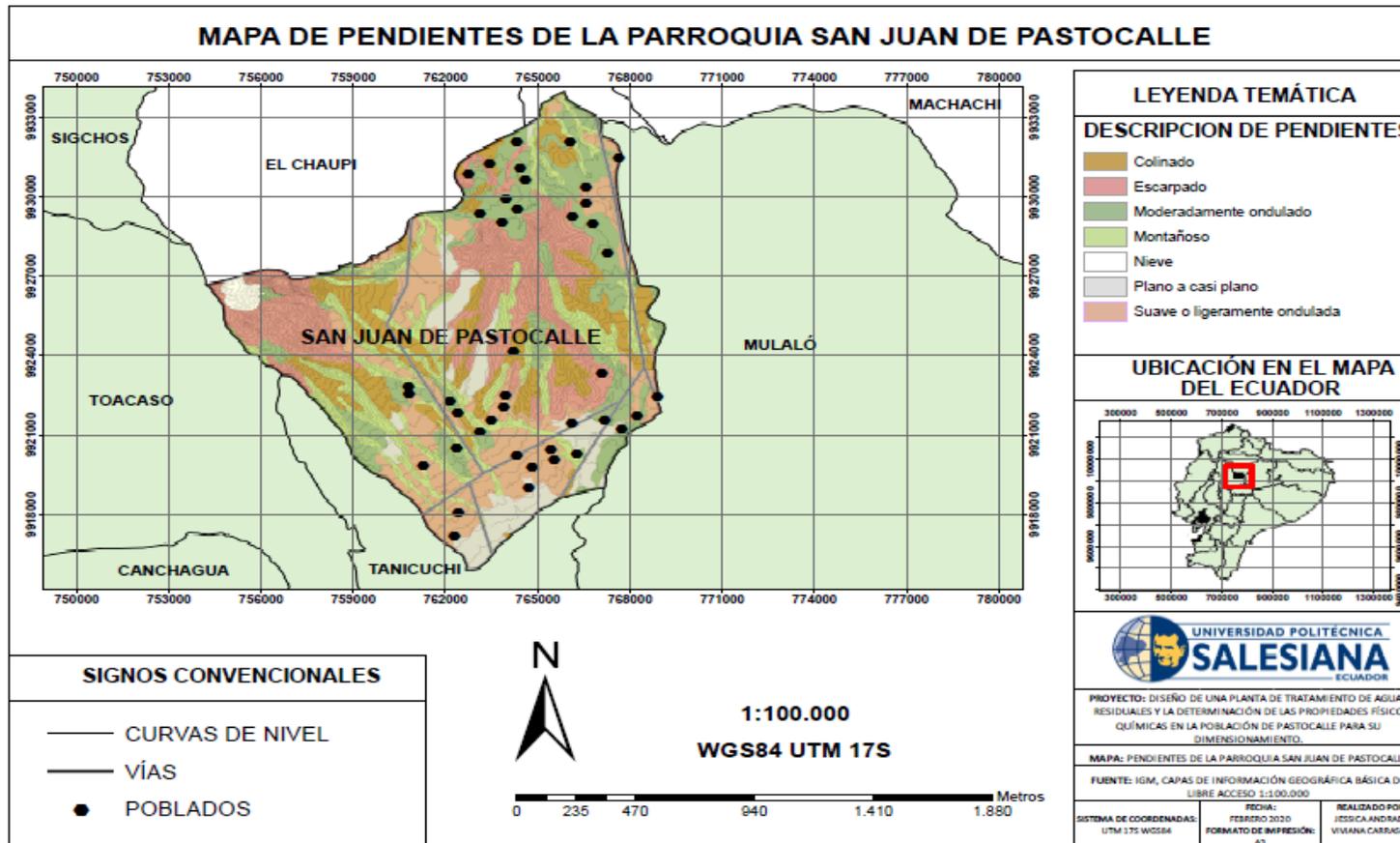
Varila, J., & Díaz, F. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Revista de tecnología*, 21-28.

Zambrano, C. (13 de enero de 2009). *Escuela Politécnica del Litoral*. Obtenido de Escuela Politécnica del Litoral: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>

## 7. ANEXOS

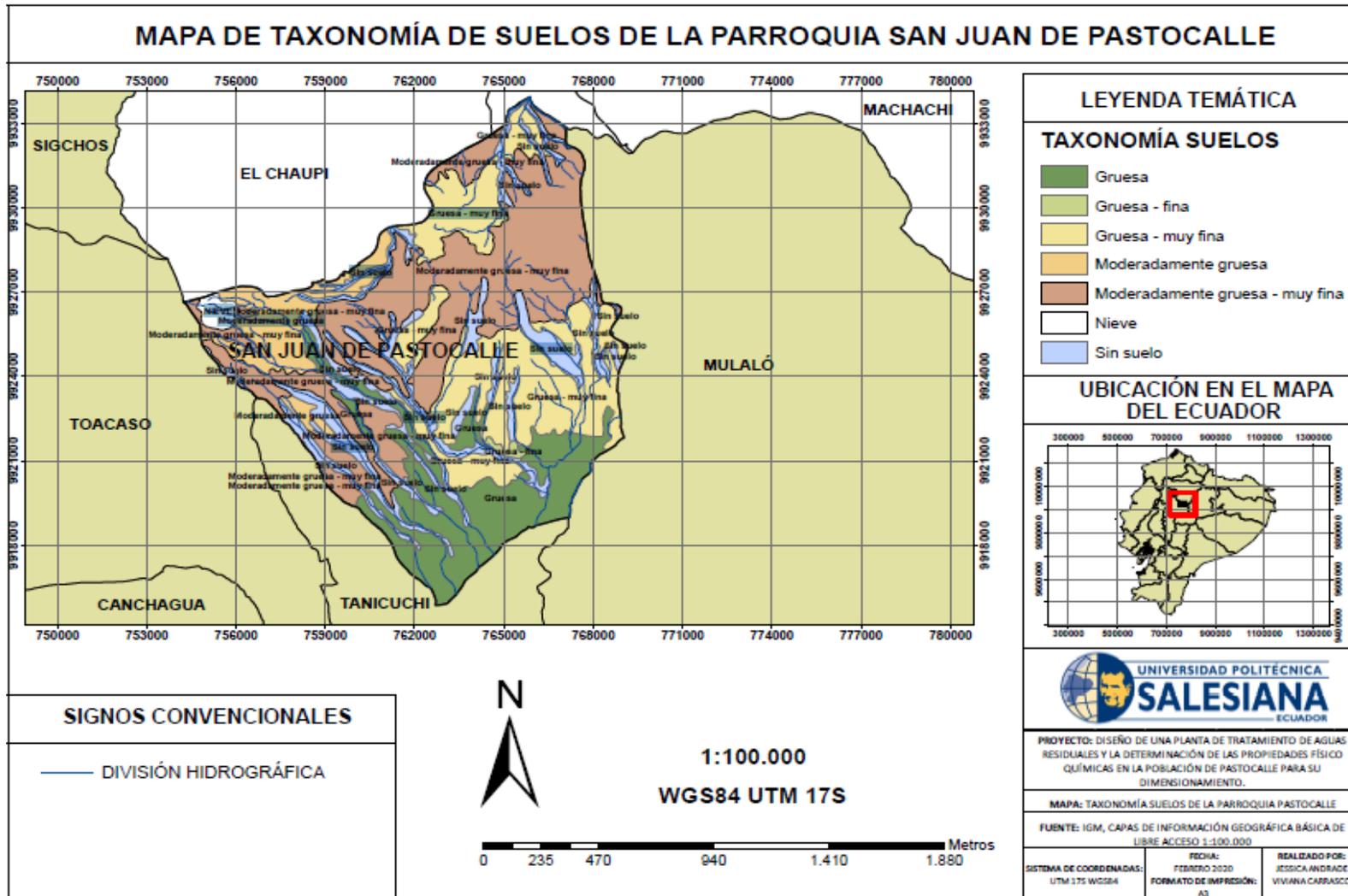
### Anexo 1

#### Mapa de pendientes de la parroquia de Pastocalle



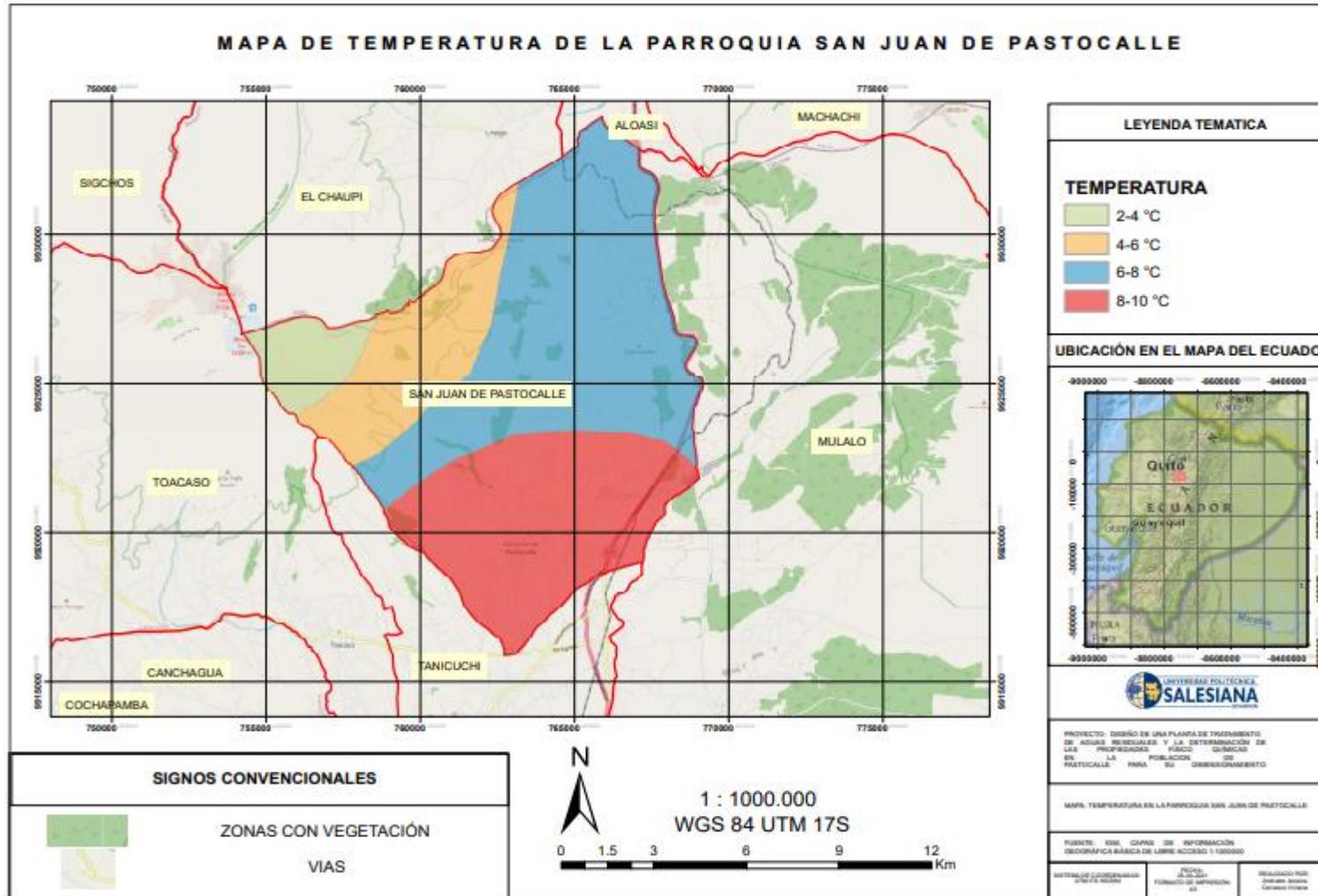
## Anexo 2

### Mapa de taxonomía de suelos de la parroquia de Pastocalle



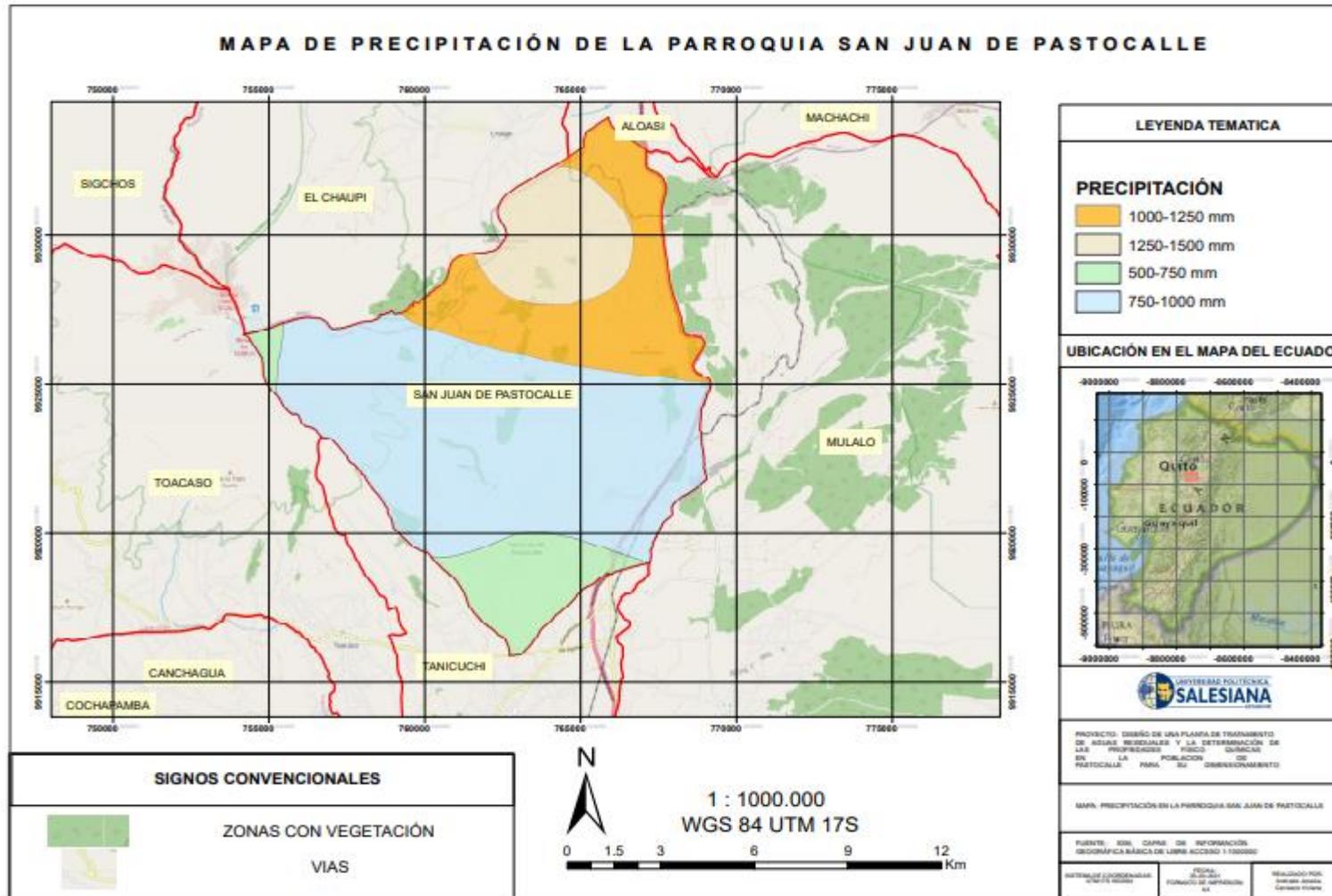
### Anexo 3

#### Mapa de la temperatura de la parroquia Pastocalle



## Anexo 4

### Mapa de la precipitación de la parroquia de Pastocalle



## Anexo 5

### Parroquia San Juan de Pastocalle



*Nota:* En las imágenes se muestra la parte central de la parroquia San Juan de Pastocalle

## Anexo 6

### *Socialización inicial del proyecto*



*Nota:* En las imágenes se muestra la socialización inicial realizada con los encargados del GAD parroquial de Pastocalle

## Anexo 7

### Toma de muestras para su análisis



**Nota:** En las imágenes se muestra la toma de muestras del agua residual para su posterior análisis

## Anexo 8

### Medición de parámetros in situ



**Nota:** En las imágenes se muestra la medición de los parámetros en el sitio de la toma de muestras

## Anexo 9

### Transporte de muestras



**Nota:** En las imágenes se muestra el transporte de las muestras para el laboratorio certificado LASA previo a su análisis

## Anexo 10

### Análisis de los sólidos



*Nota:* En las imágenes se muestra el análisis de los sólidos en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana

## Anexo 11

### Prueba de jarras



*Nota:* En las imágenes se muestra la realización de la prueba de jarras en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana

## Anexo 12

### Socialización final del proyecto

The collage consists of several elements:

- Top Left:** A slide titled "LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN" (Stabilization Ponds). It features a technical diagram of two rectangular ponds labeled "Laguna de Estabilización 1" and "Laguna de Estabilización 2", connected to a "Laguna Finalizada". To the right is a site plan showing a building complex and parking areas.
- Top Right:** A video call grid with several participants. Text overlays on the grid include: "aguas volutas... lidas en roquia... como lón final blanco." and "hincapie 'sumak' que se ano en la plicón de la plica del sador... zando un ste sano y icamente".
- Middle Left:** A slide titled "INGENIERIA AMBIENTAL" (Environmental Engineering). Below the title, it says "E TRATAMIENTO DE AGUAS" and "NACIÓN DE LAS PROPIEDADES OBLACIÓN DE PASTOCALLE PARA". The authors listed are "AUTORAS: Jessica Andrade" and "Viviana Carrasco".
- Middle Right:** Another video call grid showing participants like Miguel Aracue, Jessica Andrade, and Viviana Carrasco.
- Bottom Left:** A slide titled "ATAMIENTO" (Treatment). It shows a diagram of a "CRIBADO" (screening) process. The diagram includes a rectangular tank with a screen, a flow arrow, and labels "GRASAS <20" and "30mg". The output is labeled "Efluyente".
- Bottom Right:** A video call grid with participants including Miguel Aracue, Jessica Andrade, Nancy Iza Moreno, Viviana Carrasco, and Juan Chiriboga. The background of the slide features green environmental icons like leaves and a recycling symbol.

**Nota:** En las imágenes se muestra la socialización inicial realizada con los encargados del GAD parroquial de Pastocalle

## Anexo 13

### *Solicitud de la socialización inicial*

Latacunga 16 de Noviembre del 2020

Lcda. Nancy Iza

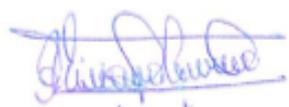
Presidenta del GAD parroquial San Juan de Pastocalle

**PRESENTE**

Por medio del presente le reitero un cordial saludo y a su vez me permito solicitar una reunión con los encargados del GAD parroquial; para la socialización inicial del proyecto "Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y la determinación de las propiedades físico químicas en la población de Pastocalle para su dimensionamiento". Para el día 20 de noviembre del presente año a las 15:00 horas, se solicita realizar dicha socialización de manera presencial en las instalaciones del GAD parroquial.

La reunión tiene como finalidad indicarles el proyecto que deseáramos efectuarlo en la parroquia y todo lo que conlleva dicho estudio y ver si es aprobado por los encargados del GAD parroquial. La socialización será impartida por Jessica Ximena Andrade Molina y Viviana Estefanía Carrasco Cando egresadas de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana.

Anticipo mis agradecimientos.



---

**ATENTAMENTE**

Viviana Estefanía Carrasco Cando

*Nota:* La imagen muestra la solicitud para poder realizar la socialización inicial con el GAD parroquial de San Juan de Pastocalle

## Anexo 14

### *Solicitud de la socialización final*

Quito 29 de junio del 2021

Lcda. Nancy Iza

Presidenta del GAD parroquial San Juan de Pastocalle

**PRESENTE**

Por medio del presente le reitero un cordial saludo y a su vez me permito solicitar una reunión con los encargados del GAD parroquial; para la socialización final del proyecto “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y la determinación de las propiedades físico químicas en la población de Pastocalle para su dimensionamiento”. Para el día jueves 01 de julio del presente año a las 9:00 horas, se solicita realizar dicha socialización de manera virtual por la situación actual que está atravesando el país.

La reunión tiene como finalidad darles a conocer el diseño de la planta de tratamiento de agua residual y el análisis técnico, social y económico; la cual será impartida por las estudiantes Jessica Ximena Andrade Molina y Viviana Estefanía Carrasco Cando egresadas de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, y con la presencia de su docente tutor MSc. Eduardo Alberto Miguel Araque Arellano.

Esperando una pronta respuesta anticipo mis agradecimientos.



**ATENTAMENTE**

**Jessica Ximena Andrade Molina**

*Nota:* La imagen muestra la solicitud para poder realizar la socialización final de manera virtual con el GAD parroquial de San Juan de Pastocalle

## Anexo 15

### Resultado de los análisis físicos químicos



Acreditación N° SAE LEN 06-002  
LABORATORIO DE ENSAYOS

### INFORME DE RESULTADOS

SUPLEMENTO AL INFORME INF.LASA 04-02-21-0293  
ORDEN DE TRABAJO No. 21-302

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
SOLICITADO POR: <u>JESSICA ANDRADE</u>		DIRECCIÓN: ESF AV. GONZALO PEREZ BUSTAMANTE	
TELÉFONO/FAX: <u>0984908797</u>	TIPO DE MUESTRA: AGUA	PROCEDENCIA: CAJA DE REVISION PASTOCALLE	
IDENTIFICACIÓN: AGUA RESIDUAL		CODIGO INICIAL: M1 - FECHA DE TOMA DE MUESTRA: 24/01/2021 - COORDENADAS: Lat: -0,732111, Lng: -78,631350	

Información suministrada por el cliente

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO		
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: --	INGRESO AL LABORATORIO: 25/01/2021
FECHA DE ANÁLISIS: 25/01-04/02/2021	FECHA DE ENTREGA: 04/02/2021	NÚMERO DE MUESTRAS: Una (1)
CÓDIGO DE MUESTRA: 21-772	REALIZACIÓN DE ENSAYOS: LABORATORIO	

### ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO

ITEM	PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	<sup>1</sup> VALORES DE REFERENCIA	INCERTIDUMBRE U (k=2)	MÉTODO DE ENSAYO
1	ACEITES Y GRASAS	mg/l	<20	30	± 24%	<sup>b</sup> PEE-LASA-FQ-15 APHA 5520 B
2	D.B.O5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	277,2	100	± 10%	<sup>b</sup> PEE-LASA-FQ-07 APHA 5210 B
3	D.Q.O DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/l	404	200	± 16%	<sup>b</sup> PEE-LASA-FQ-04B APHA 5220 D
4	FÓSFORO TOTAL	mg/l	9,35	10	± 12,9%	<sup>b</sup> PEE-LASA-FQ-09c APHA 4500-P B y E
5	N-NITRATOS	mg/l	19,1	-	-	<sup>b</sup> PEE-LASA-FQ-23 APHA 4500-NO3-B *
6	N-NITRITOS	mg/l	<0,02	-	± 24%	<sup>b</sup> PEE-LASA-FQ-54 APHA 4500-NO2-B

Los ensayos marcados con (b) NO están incluidos en el alcance de acreditación de A2LA.

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

<sup>(1)</sup> Valores de referencia tomado de Acuerdo Ministerial N° 097, Libro VI de la Calidad Ambiental. Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce  
Se modifica (05/02/2021) "Se corrigen datos del apartado información del cliente"

QUÍM. PABLO SAAVEDRA  
JEFE DE DEPARTAMENTO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio.

LASA se responsabiliza exclusivamente del resultado correspondiente a los ensayos en la muestra recibida en el laboratorio

Los criterios de conformidad serán emitidos solamente si el cliente lo solicita por escrito.

El laboratorio se compromete con la Imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (la aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en [www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com))

Pág. 1 de 1

Juan Ignacio Pareja 0e5-97 y Simón Cárdenas | [clientes@laboratoriolasa.com](mailto:clientes@laboratoriolasa.com)  
(02) 2269012 | (02) 2468659 | 0995707705

**Nota:** La imagen muestra los resultados obtenidos en el análisis físico químico realizado en el laboratorio certificado LASA

## Anexo 16

### Resultado del análisis microbiológico



Accreditación N° SAE LEN 06-002  
LABORATORIO DE ENSAYOS

### INFORME DE RESULTADOS

SUPLEMENTO AL INF.LASA 03/02/2021 -428  
ORDEN DE TRABAJO N° 21-302

DATOS DEL CLIENTE			
SOLICITANTE: JESSICA ANDRADE	DIRECCIÓN: ESF AV. GONZALO PEREZ BUSTAMANTE		
TELÉFONO: : 0984908797	TIPO DE MUESTRA: AGUA		
INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE			
IDENTIFICACIÓN: AGUA RESIDUAL 24/01/2020	PROCEDECENCIA : CAJA DE REVISION PASTOCALLE		
DATOS DEL LABORATORIO			
MUESTREO POR: SOLICITANTE	FECHA DE MUESTREO: _	NÚMERO DE MUESTRAS: UNA (1)	
FECHA DE RECEPCIÓN: 25/01/2021	FECHA DE ANÁLISIS: 25 AL 03/02/2021	FECHA DE ENTREGA: 03/02/2021	
CÓD. MUESTRA: 21-772	REALIZACIÓN DEL ENSAYO: LABORATORIO		

### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE %U (K=2)	MÉTODOS DE ENSAYO
COLIFORMES FECALES, FERMENTACIÓN EN TUBO	nmp/100ml	92 X 10 <sup>5</sup>	-	PEE.LASA.MB.27 APHA 9221 F, Ed. 23, 2017

Se modifica 10/02/2021 "Solicitante"

Lcda. Johanna Ramos  
JEFE DE DEPARTAMENTO

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin permiso por escrito del laboratorio  
LASA se responsabiliza exclusivamente del resultado correspondiente a los ensayos en la muestra recibida en el laboratorio  
El laboratorio se compromete con la imparcialidad y confidencialidad de la información y los resultados  
(La aceptación de este informe implica la aceptación de la política relativa al tema y declarada en [www.laboratoriolasa.com](http://www.laboratoriolasa.com).  
Los criterios de conformidad serán emitidos solamente si el cliente lo solicita por escrito

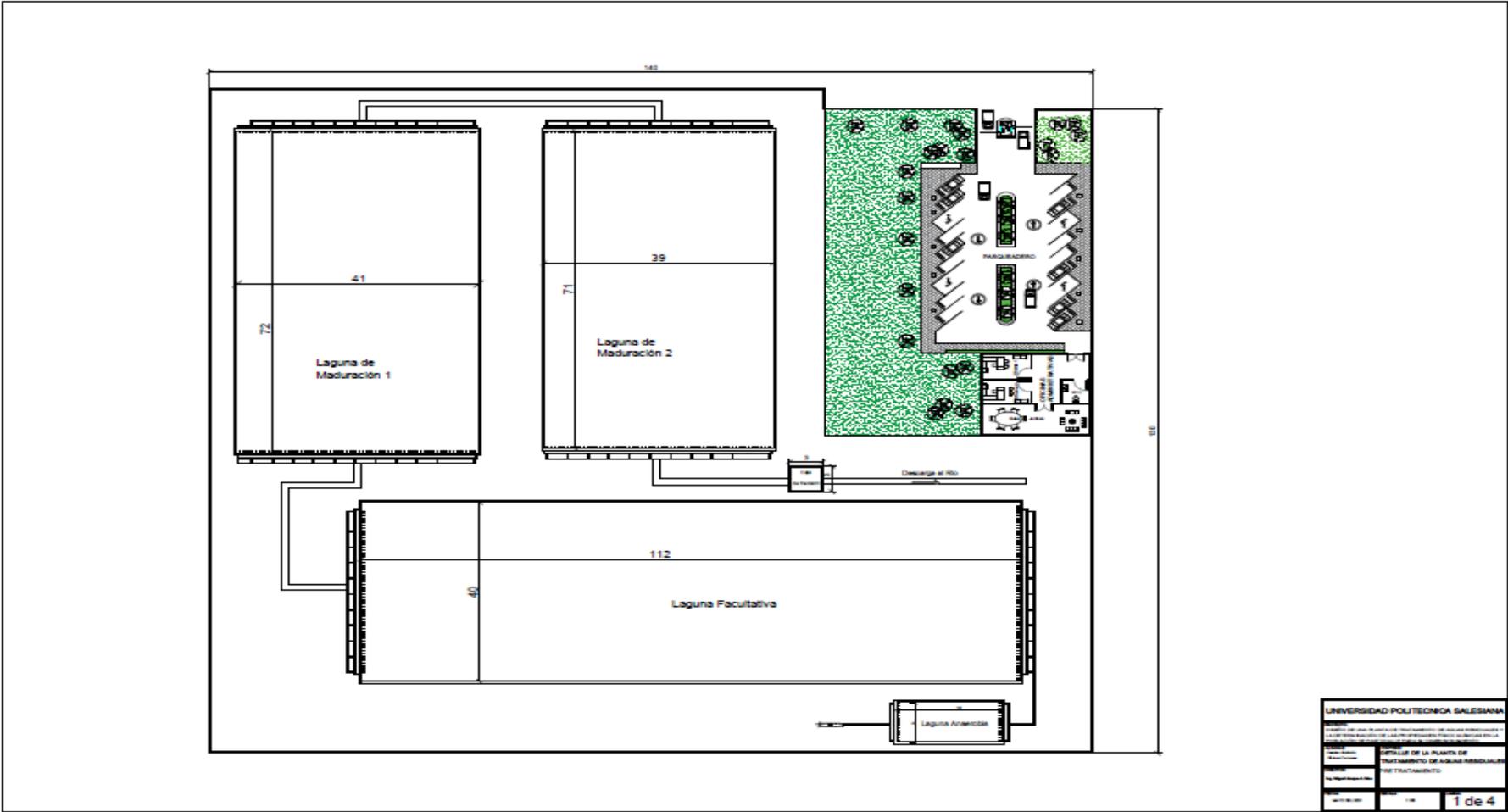
Pág. 1 de 1

Juan Ignacio Pareja Oe5-97 y Simón Cárdenas |clientes@laboratoriolasa.com  
(02) 2269012 | (02) 2468659 | 0995707705

**Nota:** La imagen muestra los resultados obtenidos en el análisis microbiológico realizado en el laboratorio certificado LASA

Anexo 17

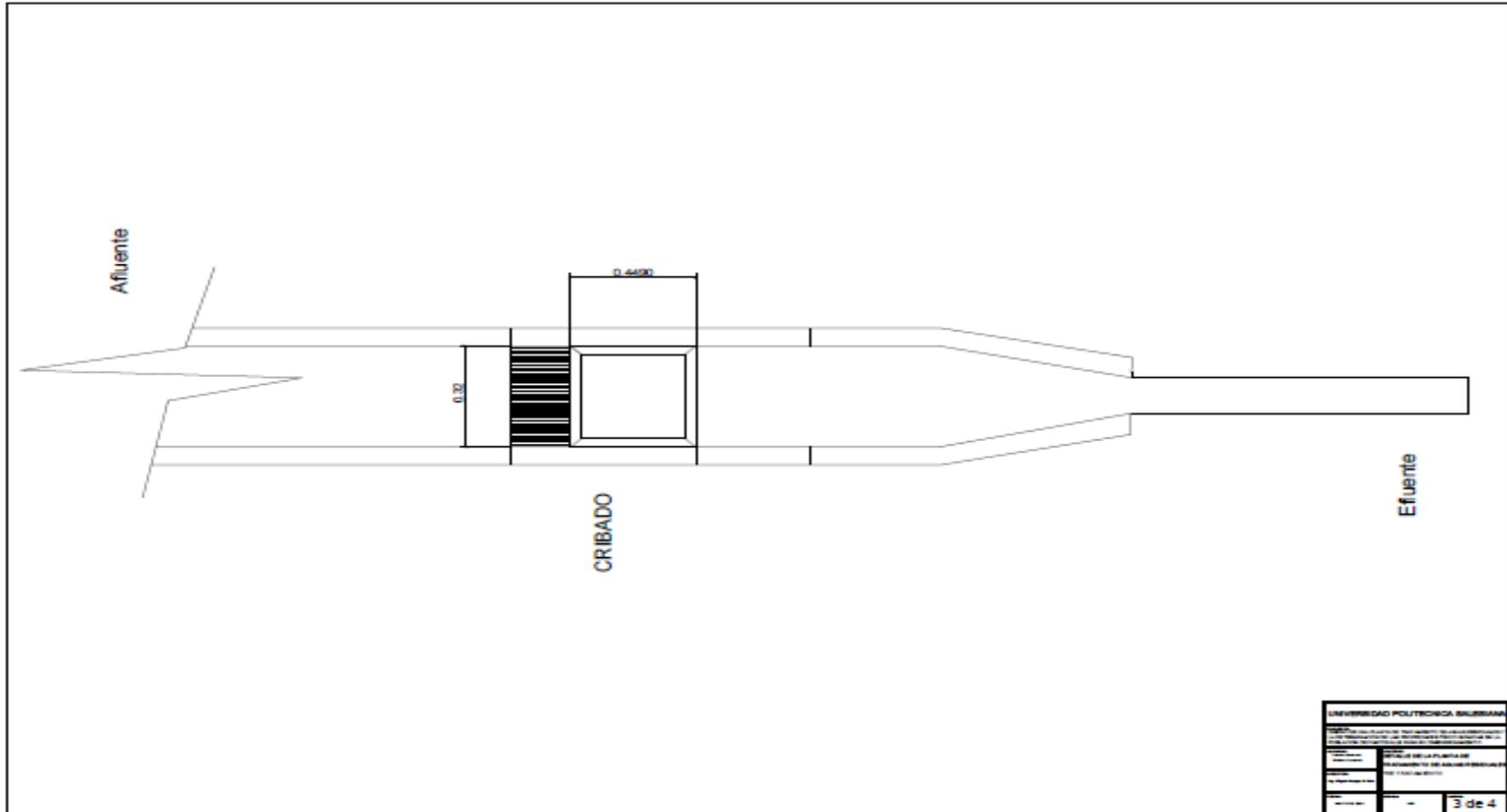
Plano de la planta de tratamiento de aguas residuales



Nota: La imagen muestra el plano total de la PTAR para la parroquia San Juan de Pastocalle

## Anexo 18

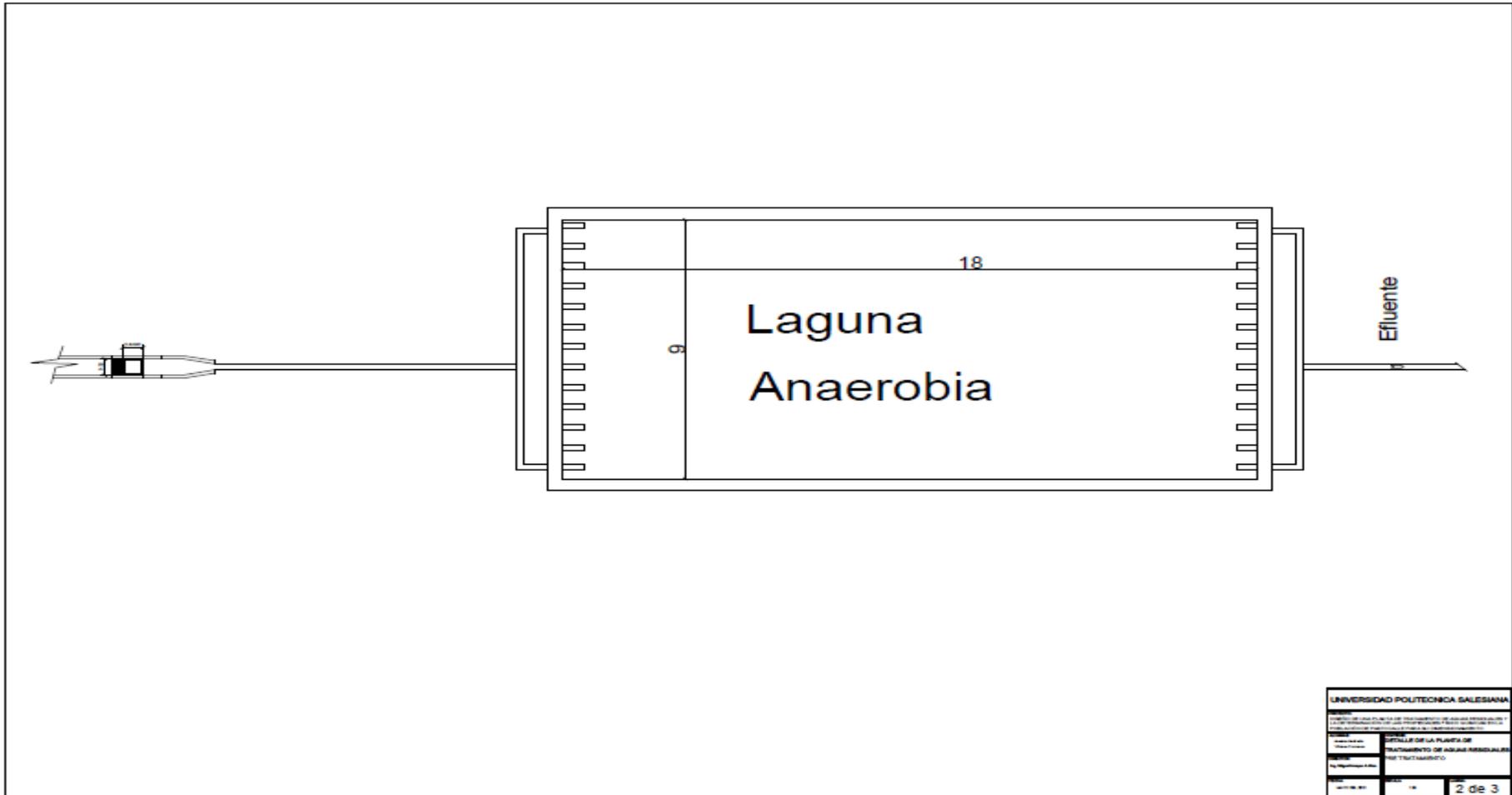
### Pretratamiento de la planta de tratamiento de agua residual



*Nota:* La imagen muestra el plano del pretratamiento de la PTAR para la parroquia San Juan de Pastocalle

## Anexo 19

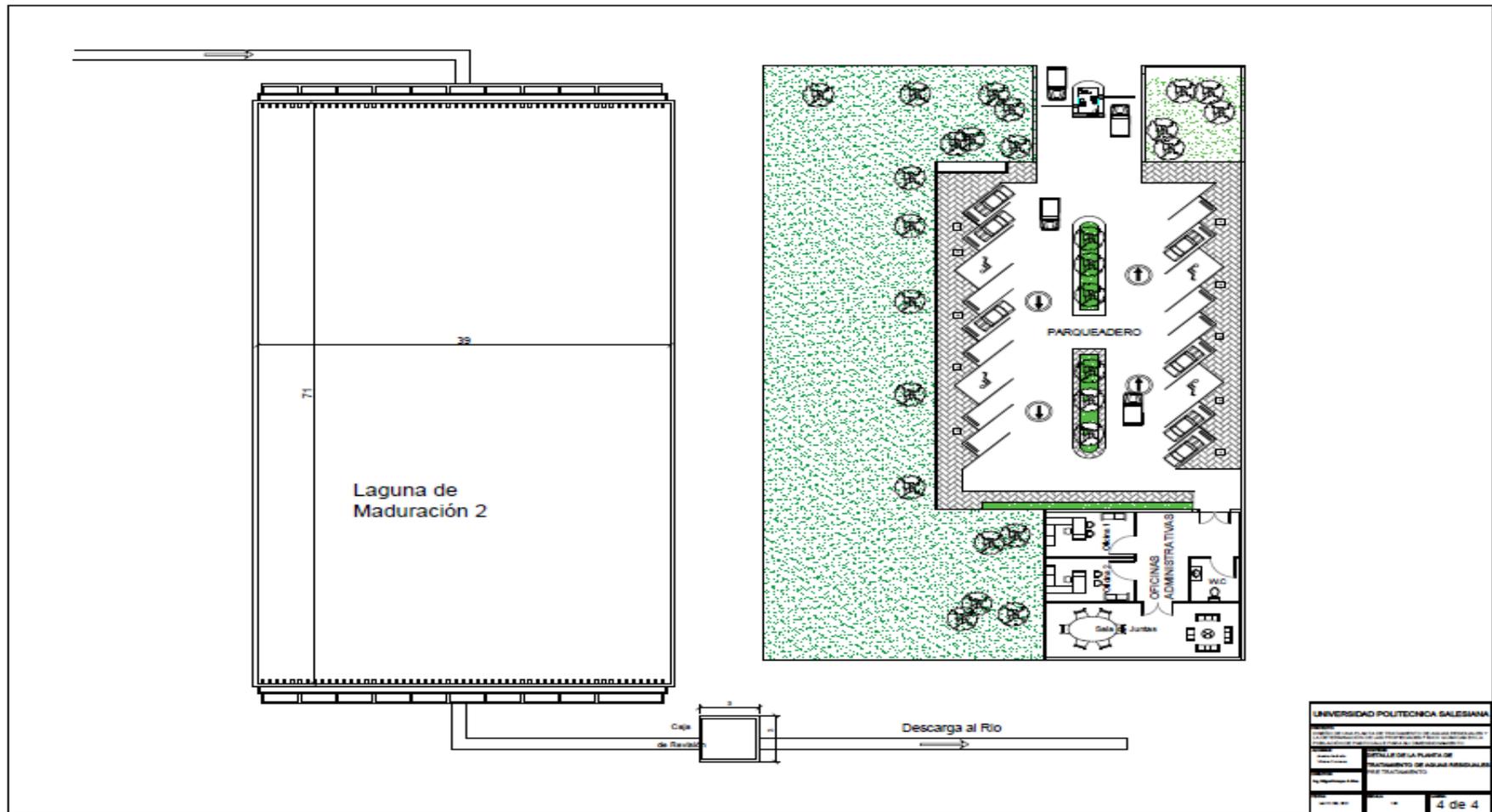
Plano del pretratamiento y el inicio del sistema de lagunaje



*Nota:* La imagen muestra el plano del pretratamiento conectado a la primera laguna de la PTAR para la parroquia San Juan de Pastocalle

## Anexo 20

Plano de la laguna de maduración 2 y la entrada a la PTAR



*Nota:* La imagen muestra la segunda laguna de maduración y la entrada a la PTAR para la parroquia San Juan de Pastocalle