



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA LOS BARRIOS: CENTRAL, EL PROGRESO, BUGANVILLAS, LOS
GUAYABALES, DE LA PARROQUIA DE MINDO DEL CANTÓN SAN MIGUEL DE
LOS BANCOS EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros Ambientales

AUTORES: CASTILLO CALDERÓN STEVEN GIOVANNY

ULLAURI VERGARA JONATHAN ANDRÉS

TUTOR: XIMENA DEL ROCÍO BORJA VELA

Quito - Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Jonathan Andrés Ullauri Vergara con documento de identificación N° 1723206825 y Steven Giovanny Castillo Calderón con documento de identificación N° 1726693813 manifestamos que:

Somos los autores responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Steven Giovanny Castillo Calderón
1726693813



Jonathan Andrés Ullauri Vergara
1723206825

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Steven Giovanni Castillo Calderón con documento de identificación N° 1726693813 y Jonathan Andrés Ullauri Vergara con documento de identificación N° 1723206825, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para los barrios: Central, El Progreso, Bugarvillas, Los Guayabales, de la Parroquia de Mindo del Cantón San Miguel de los Bancos en la Provincia de Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Steven Giovanni Castillo Calderón

1726693813



Jonathan Andrés Ullauri Vergara

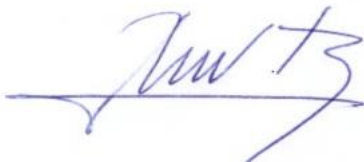
1723206825

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ximena Del Rocío Borja Vela con documento de identificación N° 1711223584, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LOS BARRIOS: CENTRAL, EL PROGRESO, BUGANVILLAS, LOS GUAYABALES, DE LA PARROQUIA DE MINDO DEL CANTÓN SAN MIGUEL DE LOS BANCOS EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA realizado por, Castillo Calderón Steven Giovanni con documento de identificación N° 1726693813 y Ullauri Vergara Jonathan Andrés con documento de identificación N° 1723206825, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing. Ximena Del Rocío Borja Vela, M.Sc

1711223584

DEDICATORIA

El presente tema de investigación va dedicado a mi madre Yerlis Calderón por su amor y apoyo incondicional hacia mí. Y por enseñarme a ser una persona responsable, honrada y trabajadora; a mi hermana Estefanía Castillo y mi sobrina Mila Jaramillo por su amor incondicional en todo momento.

Steven Giovanni Castillo Calderón

Este trabajo va dedicado a mi madre Mercedes Vergara y a mi padre Freddy Ullauri quienes han sido un apoyo fundamental en toda mi carrera universitaria y han estado presentes en momentos buenos y malos que se han venido presentando durante todo este camino y por enseñarme a ser una persona responsable y siempre seguir adelante a pesar de todo.

Jonathan Andrés Ullauri Vergara

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestra docente tutora Ing. Ximena Borja, por su compromiso y apoyo en el desarrollo de nuestro tema de investigación, ya que su direccionamiento fue fundamental para concluir con este trabajo.

Al presidente del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia de Mindo, Ing. Fidel Yaguachi por su guía y apoyo para el desarrollo del tema.

Por último, agradecemos a los docentes que nos han compartido sus conocimientos en toda nuestra carrera universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUCCIÓN	19
1.1 Problema	19
1.2 Delimitación	20
1.3 Pregunta de investigación	20
1.4 Objetivos	20
1.4.1 General	20
1.4.2 Específicos	21
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	22
2.1 Agua residual	22
2.2 Agua residual doméstica	22
2.3 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	22
2.3.1 Propiedades físicas	22
2.3.1.1 Conductividad	22
2.3.1.2 Potencial de hidrógeno (pH)	23
2.3.1.3 Temperatura	23
2.3.1.4 Turbidez	23
2.3.1.5 Sólidos.....	23

2.3.2 Propiedades químicas	23
2.3.2.1 Oxígeno Disuelto (OD):	23
2.3.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅).....	24
2.3.2.3 Nitrógeno.....	24
2.3.2.4 Fósforo	24
2.3.2.5 Coliformes fecales.....	24
2.3.2.6 Coliformes Totales	24
2.3.2.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	25
2.4 Tratamiento de aguas residuales	25
2.5 Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	25
2.6 Sistema de lagunas de estabilización	26
2.6.1 Clasificación de lagunas de estabilización	26
2.6.1.1 Primarios	26
2.6.1.2 Secundarios	26
2.6.1.3 Pulimiento o maduración	26
2.7 Categorización según la sucesión de unidades de tratamiento.....	27
2.7.1 Lagunas en serie	27
2.7.2 Lagunas en paralelo.....	27
2.8 Funcionamiento de lagunas de estabilización	28
2.8.1 Lagunas anaerobias	28
2.8.2 Lagunas facultativas.....	28

2.8.3 Lagunas de maduración.....	29
2.9 Marco legal aplicable	30
2.9.1 Constitución de la república del Ecuador.....	30
2.9.2 Acuerdo Ministerial 061.	32
2.9.3 Código Orgánico del Ambiente	35
2.10 Línea base.....	36
2.10.1 Ubicación	36
2.10.2 Clima	36
2.10.3 Precipitación.....	36
2.10.4 Velocidad del viento	36
2.10.5 Superficie	36
2.10.6 Suelo.....	37
2.10.6.1 Tipos de suelo según su orden:	37
2.10.7 Red hidrográfica.....	38
2.10.8 Agua potable	38
2.10.9 Alcantarillado	38
2.10.10 Población.....	39
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1 Materiales	40
3.1.1 Materiales y equipos <i>in situ</i>	40
3.1.2 Materiales y equipos del laboratorio	40

3.1.3 Muestreo.....	42
3.1.3.1 Sitio de muestreo.....	42
3.2 Metodología	43
3.2.1 Metodología de campo	43
3.2.1.1 Análisis estadístico y determinación de muestras.....	43
3.2.1.2 Cálculo para determinar el tamaño de la muestra para una población finita	43
3.2.1.3 Distribución de la muestra compuesta mediante muestras simples en un determinado intervalo de tiempo.	44
3.2.1.4 Muestreo, manejo y conservación de muestras.....	46
3.2.2 Metodología para análisis <i>in situ</i>	46
3.2.2.1 pH – conductividad –oxígeno disuelto – temperatura.....	46
3.2.2.2 Turbidez	47
3.2.2.3 Conductividad	47
3.2.3 Metodología para análisis en laboratorio	47
3.2.3.1 Determinación de sólidos	47
3.2.3.1.1 Sólidos totales (ST).....	48
3.2.3.1.2 Sólidos fijos (SF).....	48
3.2.3.1.3 Sólidos volátiles (SV)	49
3.2.3.1.4 Sólidos sedimentables (SSed)	49
3.2.3.1.5 Sólidos suspendidos (SSus).....	49
3.2.4 Metodología para el tratamiento de aguas residuales	50

3.2.5 Componentes para el diseño de la PTAR:.....	51
3.2.5.1 Periodo del diseño	51
3.2.5.2 Población del proyecto	51
3.2.5.3 Índice de crecimiento poblacional	51
3.2.5.4 Cálculo de la población actual	52
3.2.5.5 Medición del caudal	52
3.2.5.6 Dotación de agua.....	53
3.2.5.6.1 Cálculo del caudal de diseño.....	53
3.2.6 Diseño de la PTAR.....	54
3.2.6.1 Diseño del canal de ingreso.....	54
3.2.6.2 Diseño de la criba.....	57
3.2.6.3 Diseño del desarenador	60
3.2.6.4 Diseño del sistema lagunar.....	62
3.2.6.4.1 Diseño de la laguna anaerobia.....	62
3.2.6.4.2 Diseño de la laguna facultativa	68
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
4.1 Resultados	76
4.1.1 Resultados in situ	76
4.1.2 Análisis de laboratorio externo	76
4.1.3 Análisis de laboratorio en la Universidad	77
4.1.4 Aforamiento del caudal	78

4.2 Resultados del dimensionamiento de las unidades de tratamiento	79
4.2.1. Dimensiones del canal de ingreso	79
4.2.2. Dimensiones de la Criba	79
4.2.3. Dimensionamiento del desarenador	80
4.2.4. Dimensionamiento de la laguna anaerobia.....	80
4.2.5. Dimensionamiento de la laguna facultativa	81
4.2.6. Condiciones del agua residual después del tratamiento lagunar	81
4.3 Análisis de sostenibilidad	83
4.3.1 Análisis económico	83
4.3.1.1 Costos de construcción de la PTAR.....	83
4.3.1.2 Costos de operación y mantenimiento de la PTAR	84
4.3.2 Análisis técnico	85
4.3.3 Análisis social	85
4.4 Discusión.....	86
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
5.1 Conclusiones	88
5.2 Recomendaciones.....	89
6. BIBLIOGRAFÍA.....	90
7. ANEXOS.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	32
Tabla 2. Materiales y equipos utilizados in situ.	40
Tabla 3. Materiales y equipos utilizados en el laboratorio de la Universidad.	41
Tabla 4. Determinación de muestras.	45
Tabla 5. Análisis, materiales y norma para la determinación de sólidos	47
Tabla 6. Datos para la remoción de la DBO ₅ en lagunas anaerobias.	64
Tabla 7. Resultados in situ de agua residual.	76
Tabla 8. Resultados de muestras enviadas a analizar al laboratorio.	76
Tabla 9. Resultados de sólidos obtenidos en el laboratorio de la universidad	77
Tabla 10. Aforamiento para la obtención del caudal	78
Tabla 11. Dimensiones del canal de ingreso	79
Tabla 12. Dimensiones de la Criba	79
Tabla 13. Dimensionamiento del desarenador	80
Tabla 14. Dimensionamiento de la laguna anaerobia	80
Tabla 15. Dimensionamiento de la laguna facultativa	81
Tabla 16. Condiciones del agua residual después del tratamiento lagunar	81
Tabla 17. Costos de construcción de la PTAR.	83
Tabla 18. Costos de operación y mantenimiento de la PTAR	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte longitudinal del sistema lagunar: anaerobia + facultativa + maduración 1 + maduración 2.....	27
Figura 2. Configuración de lagunas en paralelo, facultativa más maduración.	27
Figura 3. Esquema de una laguna anaerobia.....	28
Figura 4. Esquema de una laguna facultativa.....	29
Figura 5. Esquema de una laguna de maduración.....	29
Figura 6. Ubicación geográfica de la parroquia de Mindo.....	37
Figura 7. Punto de desembocadura del sistema de alcantarillado del Río Canchupi	39
Figura 8. Mapa de ubicación del punto de muestreo	42
Figura 9. Valor de K según nivel de confianza.....	43
Figura 10. Área de implementación de la PTAR	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Autorización por parte del GAD Parroquial de Mindo para el desarrollo del tema	96
Anexo 2. Explicación de la problemática existente en el Río Canchupi por parte del presidente del GAD Parroquial de Mindo Ing. Fidel Yaguachi.....	97
Anexo 3. Punto de descarga de agua residual desde el alcantarillado hacia el Río Canchupi	97
Anexo 4. Río Canchupi con poca descarga desde el alcantarillado	98
Anexo 5. Río Canchupi con alta descarga desde el alcantarillado (horas pico).....	98
Anexo 6. Toma de muestra del agua residual	99
Anexo 7. Medición del caudal	99
Anexo 8. Medición de parámetros In Situ (Oxígeno disuelto, pH, temperatura y conductividad).....	100
Anexo 9. Uso del turbidímetro.....	100
Anexo 10. Análisis de sólidos sedimentables	101
Anexo 11. Análisis de sólidos suspendidos con el equipo de filtración	101
Anexo 12. Solicitud aprobada sobre petición del mapa del alcantarillado de la Parroquia de Mindo por parte del alcalde del Cantón San Miguel De Los Bancos	102
Anexo 13. Informe de resultados de laboratorio del mes de noviembre.....	103
Anexo 14. Informe de resultados de laboratorio del mes de diciembre.....	104
Anexo 15. Dimensionamiento de la planta de tratamiento en AutoCAD	105
Anexo 16. Vistas y cortes de la planta de tratamiento en AutoCAD.....	106
Anexo 17. Vistas de la planta de tratamiento en 3D en AutoCAD.....	107

RESUMEN

El presente trabajo comprende el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la población de Mindo, ubicada en el cantón San Miguel de Los Bancos, perteneciente a la provincia de Pichincha. El primer capítulo contiene la información general relevante y la actual problemática que presenta el Río Canchupi debido a la desembocadura directa de las aguas servidas de los barrios Central, Progreso, Bugarvillas y los Guayabales pertenecientes a la cabecera Parroquial de Mindo, además se definió la delimitación y objetivos del proyecto. En el segundo capítulo, se realizó una descripción de las generalidades del agua residual, sus propiedades físicas, químicas y biológicas esto sirvió para definir la metodología y el sistema de tratamiento de las aguas residuales a tratar se concluyó que el más viable y económico fue un sistema de lagunas de estabilización, el cual se encuentra definido en este capítulo. También se aplicó la normativa legal para los parámetros que se utilizaron e información general a cerca del lugar y zonificación donde se llevará a cabo el presente trabajo. Posteriormente, en los capítulos III, IV y V, se encuentran los materiales y métodos utilizados para la investigación como fue la determinación del número de muestras para la recolección del agua residual en base a la Norma INEN 2226 (2013) para evaluar los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual, se determinó también el índice de biodegradabilidad mediante la relación de la DBO_5/DQO con lo que se dedujo que el método del tratamiento secundario convencional con sistema biológico es un enfoque viable, ya que el agua presentó materia orgánica moderadamente degradable. Después se realizó el dimensionamiento de la planta de tratamiento la que consta de un canal de entrada, una laguna anaerobia y una facultativa, previo a esto, y con los cálculos realizados, se diseñó la planta y ésta se presenta en un plano en AutoCAD. Se continuó con los acápites de los estudios económico, técnico y social.

Palabras claves: tratamiento de aguas residuales, lagunas de estabilización, laguna anaerobia, laguna facultativa, AutoCAD.

ABSTRACT

This work includes the design of a wastewater treatment plant for the population of Mindo, located in the San Miguel de Los Bancos canton, belonging to the province of Pichincha.

The first chapter contains the relevant general information and the current problems that the Canchupi River presents due to the direct outlet of the sewage from the Central, Progreso, Buganvillas, and Guayabales neighborhoods belonging to the Mindo Parish head, in addition, we find the delimitation and project goals. In the second chapter, a description of the generalities of wastewater, its physical, chemical, and biological is made, this is attributed to define the methodology and the wastewater treatment system to be used, it was concluded that the most viable and economical was a system of certainty gaps which is defined in this chapter. The legal regulations for the parameters that were used and general information about the place and zoning where the present work will be carried out were also applied. Subsequently, in chapters III, IV, and V, the materials and methods used are found, such as the determination of the number of samples for the collection of wastewater based on the INEN 2226 Standard (2013) to evaluate the physical, chemical, and biological residues from the water, the biodegradability index is prolonged using the BOD5/COD ratio, thereby prolonging the conventional secondary treatment method with biological systems as a viable approach, since the water has moderately degradable organic matter. Utilizing the aforementioned methods, the dimensioning of the treatment plant began, which consists mainly of an inlet channel, an anaerobic lagoon, and a facultative one, before this, and with the calculations carried out, the plant is regenerated and is presented in a plan. in AutoCAD. The sections to studies economic, technical, and social.

Key words: wastewater treatment, stabilization lagoons, anaerobic lagoon, facultative lagoon, AutoCAD.

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
°C	Grado Centígrado
OD	Oxígeno Disuelto
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial de Hidrógeno
COA	Código Orgánico del Ambiente
mm	Milímetro
mL	Mililitro
mg	Miligramo
L	Litro
UTM	Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator
ST	Sólidos Totales
SF	Sólidos Fijos
SV	Sólidos Volátiles
SSed	Sólidos Sedimentables
SSus	Sólidos Suspendidos
C.O.	Carga Orgánica
Q_d	Caudal de Diseño
Q	Caudal
t_R	Tiempo de Retención
t_{RF}	Tiempo de Retención Hidráulico

Q_e	Gasto en el Efluente
$Q_{e_{corr}}$	Gasto del efluente corregido por el balance hídrico
$DBO_{5_{corr}}$	Demanda de Bioquímica Oxígeno corregida por el balance hídrico
N_e	Coliformes Fecales en el efluente de la laguna
$N_{e_{corr}}$	Coliformes Fecales corregidos por el balance hídrico

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

La parroquia de Mindo conocida por sus atractivos turísticos principalmente las actividades que se desarrollan en sus ríos, atraviesa problemas por muchos años en el manejo y tratamiento de sus aguas servidas, han pasado varias administraciones municipales y no han dado solución al problema de descarga de aguas residuales al río Canchupi el cual en una corta distancia se conecta con el río Mindo, y este es el principal atractivo turístico del cual dependen la economía de la población. (Yaguachi, 2021).

El tratamiento de las aguas residuales se origina de la necesidad de eliminar toda aquella sustancia, componente o residuo que pueda producir daños al medio ambiente y por ende riesgos para la salud humana. (CEPAL, 1990).

Al no tratar las aguas residuales se presentan importantes afectaciones ambientales, económicas y sociales, como son la pérdida de los cuerpos de agua, de la flora y la fauna de las zonas aledañas. De igual manera, provoca malos olores y focos de transmisión de enfermedades. (INCyTU, 2019).

Debido a esta problemática se planteó realizar el presente estudio para diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la población de la parroquia de Mindo del cantón San Miguel de Los Bancos en la provincia de Pichincha, con el objetivo de reducir la contaminación ambiental en el río Canchupi, además que con este estudio se podrá despertar el interés de la población y autoridades de la Parroquia para que el problema sea atendido de una forma eficaz.

La bibliografía reporta 2 únicos estudios con relación al tema de investigación en la parroquia de Mindo, los cuales son “DISEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

POTABLE Y AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA PARROQUIAL DE MINDO, CANTÓN SAN MIGUEL DE LOS BANCOS, PROVINCIA DE PICHINCHA” (Orbe, 2013), y “PROPUESTA DE GESTIÓN DEL RÍO MINDO ORIENTADO AL USO RECREATIVO DEL AGUA, UTILIZANDO LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA” (CUSTODE, 2016).

La parroquia de Mindo cuenta con un sistema de alcantarillado mixto, el cual está dividido por dos sectores que comprenden varios barrios, uno de estos sectores cuenta con una PTAR la cual no tiene un correcto funcionamiento, en cambio el otro sector no cuenta con ningún tipo de tratamiento de aguas residuales y es el que desborda en el río Canchupi. (Yaguachi, 2021).

1.2 Delimitación

Los barrios Central, El Progreso, Buganvillas, Los Guayabales se encuentran ubicados en la Parroquia de Mindo, en el Cantón San Miguel de los Bancos en la Provincia de Pichincha. La Parroquia de Mindo limita al Norte con Gualea, al Sur con San Carlos, al Este con Los Bancos y al Oeste con Nono. El lugar de ubicación de la planta de tratamiento será entre el Río Canchupi, frente al punto de muestreo, el cual se indica en la figura 8. y la calle El Cade.

1.3 Pregunta de investigación

¿Con la propuesta de diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para los barrios Central, El Progreso, Buganvilla y Los Guayabales se lograría llegar a cumplir los parámetros establecidos en la normativa ambiental aplicable?

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para depurar las aguas residuales para los barrios: Central, El Progreso, Buganvillas, Los Guayabales, de la parroquia de Mindo del cantón San Miguel de Los Bancos en la provincia de Pichincha.

1.4.2 Específicos

- Evaluar parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas residuales de los barrios: Central, El Progreso, Bugarvillas, Los Guayabales, de la parroquia de Mindo del cantón San Miguel de Los Bancos en la provincia de Pichincha.
- Determinar las unidades necesarias para la planta de tratamiento de agua residual y realizar su dimensionamiento con los planos correspondientes.
- Desarrollar un estudio de sostenibilidad económico, técnico y social.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Agua residual

Las aguas residuales se entienden como la acción y consecuencia causados por la actividad humana al introducir materias contaminantes, formas de energía o provocar condiciones en el agua de modo directo o indirecto; lo que implica un cambio perjudicial de su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica (CEPAL, 1990). Estas aguas son provenientes del sistema de dotación de agua de una población después de haberse visto modificadas las características principales de esta debido a usos en actividades domésticas, industriales y urbanas. “El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; que forman una mezcla entre materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos” (Alvarado, 2012).

Las aguas residuales también se pueden definir como aquellas que representan un peligro a la salud humana y deben tratarse porque contienen grandes cantidades de sustancias y / o microorganismos. (García y Pérez, 1985).

2.2 Agua residual doméstica

Aguas residuales o cloacales domésticas: contienen heces y orina humanas, agua empleada en la higiene personal, limpieza de la cocina y el hogar en general. Suelen contener mucha carga orgánica y microorganismos, además residuos de jabón, detergente, lejía y grasa. (García y Pérez, 1985).

2.3 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

2.3.1 Propiedades físicas

2.3.1.1 Conductividad

“La conductividad es una medida de la concentración total de iones en solución. La conductividad es realmente una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente” (ECOFLUIDOS, 2012).

2.3.1.2 Potencial de hidrógeno (pH)

“Es el logaritmo base 10, de la actividad molar de los iones hidrógeno de una solución. Indica la acidez o alcalinidad del agua” (ECOFLUIDOS, 2012).

2.3.1.3 Temperatura

“La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía. La temperatura del agua influirá en la cantidad de oxígeno presente en el agua ya que a mayor temperatura se acelerará el proceso fotosintético, así como la remoción de materia orgánica” (ECOFLUIDOS, 2012).

2.3.1.4 Turbidez

“La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia” (ECOFLUIDOS, 2012).

2.3.1.5 Sólidos

Las aguas residuales se encuentran todo tipo de sólidos, distinguiéndose entre ellos orgánicas e inorgánicas. Los sólidos comúnmente se clasifican en suspendidos, disueltos y totales. Toda la materia, excepto el agua contenida en materiales líquidos es considerada como materia sólidas. La definición más generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo de evaporación y secado bajo una temperatura entre 103-105 °C. (Paz, 2010)

2.3.2 Propiedades químicas

2.3.2.1 Oxígeno Disuelto (OD):

Es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para la vida de cualquier organismo acuático. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua. Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del

oxígeno presente en el aire que se ha disuelto en el agua. Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. (ECOFLUIDOS, 2012)

2.3.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

“Indica la cantidad en miligramos de oxígeno disuelto que utilizan las bacterias para descomponer la materia orgánica presente en un litro de agua. Es una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica” (ECOFLUIDOS, 2012).

2.3.2.3 Nitrógeno

“Se puede encontrar que el nitrógeno se disuelve en agua en varios estados de oxidación: nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$), nitrato (NO_3^-) o nitrito (NO_2^-). Pero el más común es el estado de oxidación del nitrógeno amoniacal, que también corresponde al estado de oxidación del nitrógeno orgánico” (Carrera, 2017).

2.3.2.4 Fósforo

“La presencia del fósforo en aguas residuales domésticas se acerca a los 6 y 20 mg / L” (Cueva, 2021).

2.3.2.5 Coliformes fecales

“Los coliformes fecales son microbios cuya estructura es similar a una bacteria común llamada *Escherichia coli*, que generalmente se disemina en los intestinos de los humanos y otros animales. Existen diferentes tipos de *Escherichia*; algunas no causan daño en condiciones normales y otras incluso pueden causar la muerte” (Mora, 2010).

2.3.2.6 Coliformes Totales

“Bacterias gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, capaces de crecimiento aeróbico y anaeróbico facultativo en presencia de sales biliares, que a temperatura especificada de $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ hará que la lactosa fermente y produzca gas. Poseen la enzima B-galactosidasa” (Navarro, 2007).

2.3.2.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

“Es el parámetro utilizado para caracterizar la contaminación orgánica del agua que se mide a partir de la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la degradación química de los contaminantes orgánicos que contiene” (ECOFLUIDOS, 2012).

2.4 Tratamiento de aguas residuales

La elección del proceso de depuración de tratamiento de aguas residuales o una serie de procesos depende de la calidad del agua y el uso que se dará, estos incluyen:

- a) Características de las aguas residuales: DBO₅, sólidos en suspensión, pH, productos tóxicos.
- b) La calidad del efluente de salida requerido.
- c) El costo y la disponibilidad de la tierra; por ejemplo, ciertos tratamientos biológicos (lagunas, estanques de estabilización) solo son económicamente viables cuando se dispone de tierras de bajo costo.
- d) Considerarla expansión futura o proporcionar límites de calidad de emisión más estrictos, que requieren tratamientos más complejos en el futuro.
- e) Cargos locales de agua; por ejemplo, ciertos tratamientos complejos (ósmosis inversa) pueden ser razonables en algunas áreas con altos costos de agua, pero no apropiados en áreas con bajos costos de agua. (Ramalho, 1996).

2.5 Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento, primarios, secundarios y terciarios de aguas residuales están diseñados para eliminar sólidos en suspensión, DBO₅, microorganismos patógenos, nitrógeno, fósforo, sustancias orgánicas (detergentes, fenoles y pesticidas), trazas de metales pesados y sustancias inorgánicas disueltas.

La capacidad y eficiencia del sistema de procesamiento a aplicar depende de su diseño. La elección del proceso de tratamiento varía según la investigación individual para cada proyecto,

basada en la eficiencia de remoción requerida y el presupuesto asignado para posibles soluciones técnicas.

En el proceso de depuración, el tratamiento de aguas residuales se divide en cuatro grupos: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, este último utilizado para fines más específicos. (Valencia, 2013).

2.6 Sistema de lagunas de estabilización

Son estanques excavados para interceptar el agua residual que se retienen por mucho tiempo. En las lagunas de estabilización, el tratamiento se realiza mediante la simbiosis de actividades bacterianas con algas y otros organismos.

“El sistema de lagunas tiene tres objetivos básicos: a) eliminar la materia orgánica de las aguas residuales, b) eliminar los nutrientes: nitrógeno y fósforo, y c) eliminar los microorganismos patógenos” (Rolim, 2000).

2.6.1 Clasificación de lagunas de estabilización

2.6.1.1 Primarios

Se llaman así porque reciben aguas residuales sin tratar y pueden ser lagunas facultativas o anaeróbicas. (CONAGUA, 2007).

2.6.1.2 Secundarios

Cuando las aguas residuales provengan de estanques primarios o de cualquier otro proceso de tratamiento. (CONAGUA, 2007).

2.6.1.3 Pulimiento o maduración

Estas lagunas se utilizan para reducir la concentración de coliformes fecales y son la etapa final del tratamiento en el sistema de lagunas.

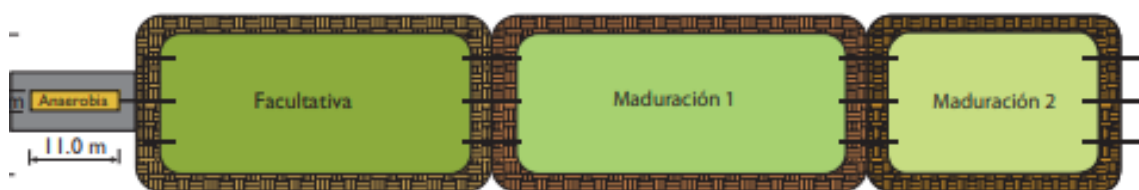
Alta tasa: Son muy poco profundas y se utilizan principalmente para la producción de algas. (CONAGUA, 2007).

2.7 Categorización según la sucesión de unidades de tratamiento

2.7.1 Lagunas en serie

“En esta categoría se incluyen los sistemas de tratamiento en secuencia; es decir, puede ir arreglos como: anaeróbico, facultativo y maduro, aunque también se puede considerar una laguna facultativa seguida de otra laguna facultativa y luego una de maduración” Cortés et al. (2017).

Figura 1. Corte longitudinal del sistema lagunar: anaerobia + facultativa + maduración 1 + maduración 2

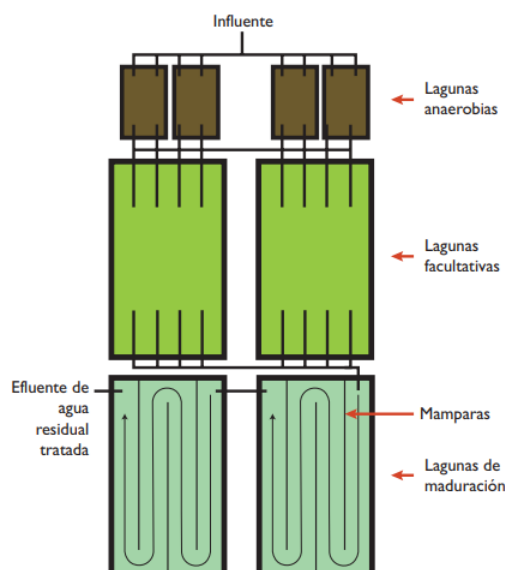


Fuente: Cortés et al (2017).

2.7.2 Lagunas en paralelo

Cuando se requiera una mayor eficiencia de eliminación de contaminantes, se deben considerar tres tipos de lagunas en el diseño y estas deben ser en paralelo: 2 lagunas anaeróbicas, 2 lagunas facultativa y 2 de maduración como se muestra en la figura 2. (Eddy, 1991).

Figura 2. Configuración de lagunas en paralelo, facultativa más maduración.



Fuente: (Oakley, 2005).

2.8 Funcionamiento de lagunas de estabilización

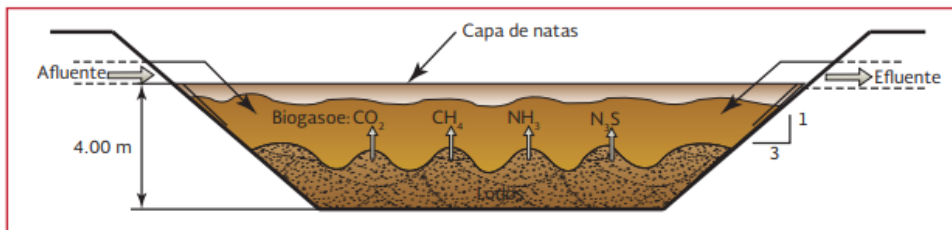
2.8.1 Lagunas anaerobias

El tanque anaeróbico está diseñado para remediar aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica, su función es precipitar sólidos y remover materia orgánica en ausencia de oxígeno. Por consideraciones de funcionamiento, los estanques anaeróbicos son espacios con el área más pequeña, la profundidad más grande y el tiempo de retención hidráulico corto. La carga orgánica que reconocen es mayor que otros tipos de lagunas.

En climas cálidos, aproximadamente el 60% de la DBO₅ se puede eliminar a 20 ° C y hasta el 75% a 25 ° C. Cortés et al. (2017).

Esta unidad suele presentar una acumulación de natas, lo que produce un aspecto desagradable; generación de burbujas (debido a la liberación de biogás) y coloración del agua gris oscuro. (Conagua, 1994).

Figura 3. Esquema de una laguna anaerobia



Fuente: (Conagua, 1994).

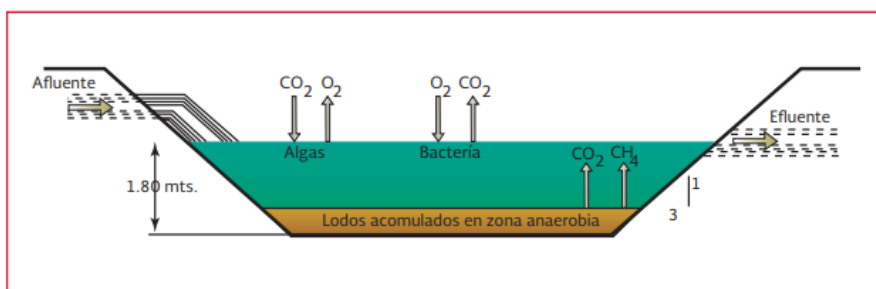
2.8.2 Lagunas facultativas

Las lagunas facultativas se utilizan a menudo como tratamiento posterior de los efluentes de las lagunas anaeróbicas. La profundidad de diseño de estas lagunas está entre 1,5 y 2 metros. El proceso de degradación se lleva a cabo en tres etapas. La primera etapa se lleva a cabo al fondo de la laguna, existen condiciones anaeróbicas que producen biogás y producen una ligera mezcla. La etapa intermedia la llevan a cabo microorganismos facultativos e incorpora

una etapa de transformación entre condiciones anaeróbicas y aeróbicas. La tercera etapa corresponde a la zona aeróbica.

La fase aeróbica ocurre en la superficie de la laguna. La producción de oxígeno la llevan a cabo las algas, que utilizan la luz solar como energía en el estanque para hacer que el agua tenga un color verde oscuro (alta concentración de OD y pH) y no tenga un olor desagradable (Conagua, 1994).

Figura 4. Esquema de una laguna facultativa

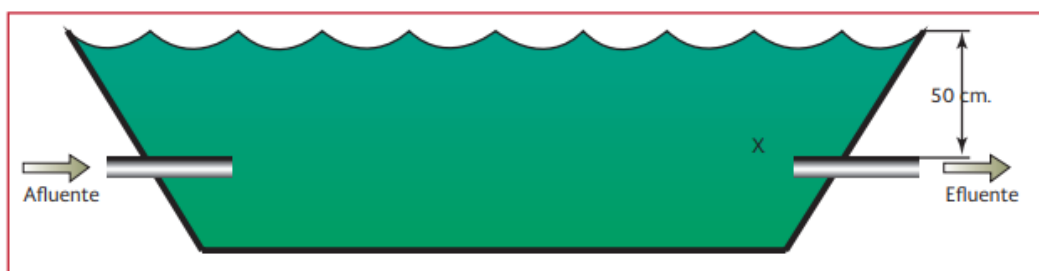


Fuente: (Conagua, 1994).

2.8.3 Lagunas de maduración

El tanque de maduración, también conocido como tanque aeróbico, tiene una profundidad de entre 0,9 y 1,5 metros. Su concentración de oxígeno disuelto es bajo y su finalidad es eliminar los microorganismos patógenos. El agua de la laguna de maduración es verde y no tiene un olor desagradable. La laguna de maduración se encuentra detrás de una laguna facultativa. (Conagua, 1994).

Figura 5. Esquema de una laguna de maduración



Fuente: (Conagua, 1994).

2.9 Marco legal aplicable

Los contaminantes en las aguas residuales están bajo varias normativas en nuestro país, el límite máximo permisible de determinados parámetros está estipulado para que cada uno se ajuste a lo establecido antes de ser descargado al cuerpo de agua dulce, sistema de agua salada o alcantarillado. A continuación, se presenta la normativa legal aplicable para el presente trabajo de investigación.

2.9.1 Constitución de la república del Ecuador

En el Título VII del Régimen del buen vivir, artículo 412, menciona que la autoridad a cargo de la gestión del agua es responsable de planificar, controlar y regular dicho recurso.

Esta autoridad deberá cooperar y coordinar la gestión ambiental con aquellos que tenga a cargo para desarrollar un manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

Conforme a lo establecido en la constitución (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.

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.

2.9.2 Acuerdo Ministerial 061.

Conforme a lo establecido en el (Pozo, 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.

Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. Conforme a lo señalado en él (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. 28 en el apartado 5.2.4 se establecen los límites de descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce, que se detalla a continuación:

Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Tabla 1. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
-----------	--------	--------------------------

Aceites y grasas	mg/L	30
Alkil mercurio	mg/L	No detectable
Aluminio	mg/L	5
Arsénico total	mg/L	0,1
Bario	mg/L	2
Boro total	mg/L	2
Cadmio	mg/L	0,02
Cianuro total	mg/L	0,1
Cinc	mg/L	5
Cloro activo	mg/L	0,5
Cloroformo	mg/L	0,1
Cloruros	mg/L	1000
Cobre	mg/L	1
Cobalto	mg/L	0,5
Coliformes fecales	NMP/100mL	2000
Color real ¹	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100

Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
Estaño	mg/L	5
Fluoruros	mg/L	5
Fósforo total	mg/L	10
Hierro total	mg/L	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	20
Manganeso total	mg/L	2
Materia flotante	mg/L	Ausencia
Mercurio total	mg/L	0,005
Níquel	mg/L	2
Nitrógeno amoniacal	mg/L	30
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50
Compuestos Organoclorados	mg/L	0,05
Compuestos organofosforados	mg/L	0,1
Plata	mg/L	0,1
Plomo		0,2
Potencial de hidrógeno	mg/L	6-9
Selenio	mg/L	0,1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	130
Sólidos totales	mg/L	1600

Sulfatos	mg/L	1000
Sulfuros		0,5
Temperatura	mg/L	Condición natural± 3
Tensoactivos	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono		1

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

Según Anexo 1 del libro VI del TULSMA del 30 de Julio del 2015, AM 097-A

2.9.3 Código Orgánico del Ambiente

Conforme a lo establecido en el (COA, 2018), mediante Registro Oficial Suplemento No 983, por el Gobierno Nacional del Ecuador el 12 de abril de 2017, se señalan lo siguiente:

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

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

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.

2.10 Línea base

2.10.1 Ubicación

“La parroquia de Mindo está ubicada en la parte noroccidente de la provincia de Pichincha, a 70 kilómetros de Quito, en un gran valle subtropical. Mindo está en el área de influencia del Bosque de Conservación Mindo-Nanbilo” (GAD Mindo, 2012).

2.10.2 Clima

“El clima principal de la región es cálido y húmedo, con una humedad atmosférica promedio de 91% a 94%, y temperaturas que oscilan entre una mínima de 16°C y una máxima de 26,8 °C” (GAD Mindo, 2012).

2.10.3 Precipitación

“La parroquia está ubicada en una zona de precipitación que van desde los 1800 mm hasta 3946 mm anuales” (Yaguachi, 2020).

2.10.4 Velocidad del viento

Con una media mensual de 6 m/s. Y media anual de 72 m/s. (GAD Mindo, 2012).

2.10.5 Superficie

La superficie de Mindo es de 274,03 kilómetros cuadrados. (Gobierno Autonomo Decentralizado Parroquia de Mindo, 2012).

Figura 6. Ubicación geográfica de la parroquia de Mindo



Fuente: (Gobierno Autonomo Decentralizado Parroquia de Mindo, 2012).

2.10.6 Suelo

2.10.6.1 Tipos de suelo según su orden

Misceláneos: Representan el 49,36% del territorio (13.526 hectáreas), correspondiente al suelo con capacidad de uso, y su aptitud es forestal.

Inceptisoles: Cubren el 47,54% del territorio (13.026,9 hectáreas) El inceptisol se origina a partir de diferentes materiales parentales; en terrenos extremos, pendientes o depresiones pronunciadas o superficies de accidentes geográficos jóvenes. Los usos de estos suelos son muy diversos, las pendientes son más adecuadas para la reforestación y las depresiones drenadas artificialmente pueden cultivarse intensivamente. (GAD Mindo, 2012).

Entisoles: Cubren el 2,05% del territorio (561,88 hectáreas), y son aquellos suelos con poca o ninguna evidencia de formación o desarrollo en capas de suelo. Muchos de estos suelos tienen un tiempo de desarrollo muy corto, están ubicados en la llanura aluvial y esta condición no permite que el suelo se desarrolle. (GAD Mindo, 2012).

2.10.7 Red hidrográfica

“Consta de tres ríos principales: río Mindo, río Saloya y río Cinto, los cuales están conectados a ríos simples con una longitud total de 464,71 kilómetros” (GAD Mindo, 2012).

2.10.8 Agua potable

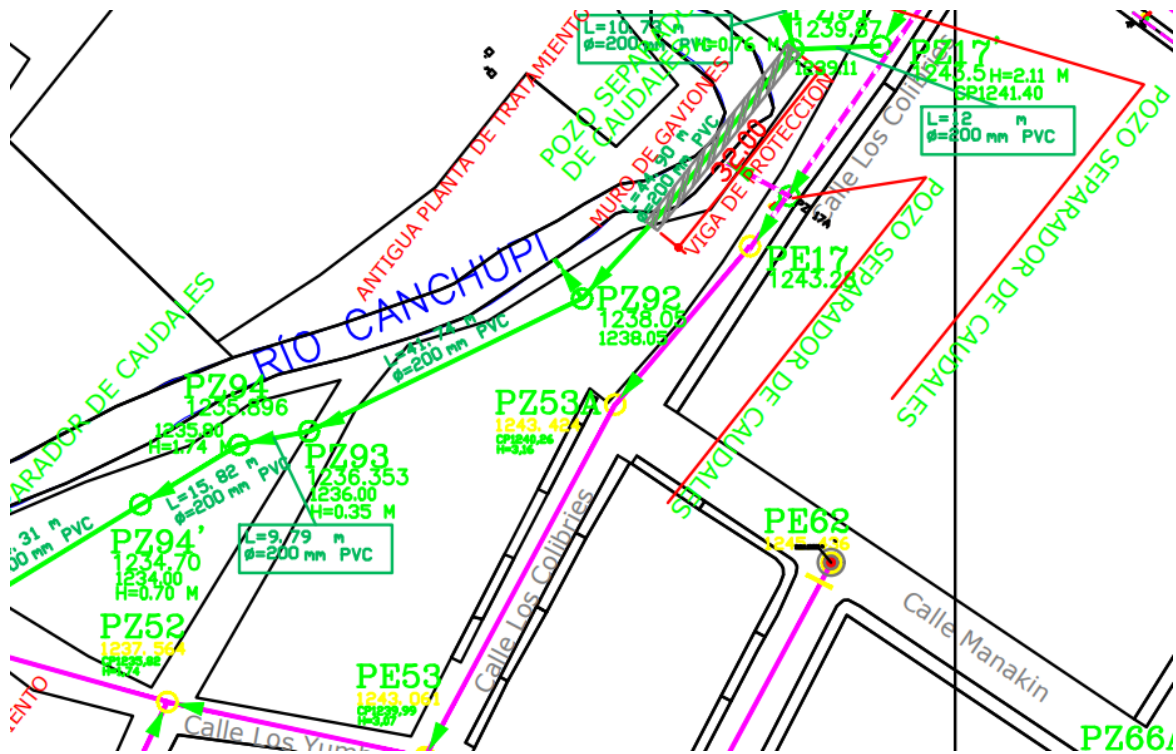
El sistema de suministro de agua y su calidad son fundamentales para la alimentación, la energía y la productividad humanas. El manejo adecuado de este recurso es una prioridad para lograr el desarrollo sustentable, el cual es consistente con la gestión integral de equilibrio entre crecimiento económico, ecuanimidad y sustentabilidad ambiental a través de mecanismos regulatorios de participación social efectivas. (GAD Mindo, 2012)

2.10.9 Alcantarillado

La parroquia de Mindo cuenta con un sistema de alcantarillado combinado, el sistema principal se encuentra actualmente conectado a una planta de tratamiento que abarca los barrios Ecuador, Mindo alto, La Maga, Deltas de la T., La Campiña, San Vicente 1 y 2, Los Ceibos, Virgen del C. y El Triunfo. (GAD Mindo, 2012).

Por otra parte, existe un sistema de alcantarillado el cual no posee ningún tipo de tratamiento y su desembocadura va directamente al río Canchupi y afecta la calidad de este cuerpo de agua, los barrios que poseen este sistema de alcantarillado son: El Progreso, Buganvillas, barrio Central y Los Guayabales. (Yaguachi, 2021).

Figura 7. Punto de desembocadura del sistema de alcantarillado del Río Canchupi



Fuente: GAD parroquial San Miguel de los Bancos

2.10.10 Población

“Según el censo de población y vivienda, la población de la Parroquia de Mindo aumentó de 2.429 habitantes en 2001 a 3.842 en 2010. La tasa de crecimiento poblacional de la parroquia de Mindo es de 5.09 % y se espera que la población aumente a 6.899 en 2022” (GAD Mindo, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

En la presente investigación se utilizaron diferentes materiales y equipos tanto para el muestreo *in situ*, como para los análisis de laboratorio.

3.1.1 Materiales y equipos *in situ*

Se utilizaron materiales básicos para la recolección de las muestras y aforo; mientras que el equipo fue proporcionado por la Universidad Politécnica Salesiana.

Tabla 2. Materiales y equipos utilizados *in situ*.

Material	Características
Botella plástica	Capacidad de 250 mL
Caneca	18 L
Etiquetas adhesivas	
Guantes	Quirúrgicos
Marcador permanente	
Libreta	

Equipo	Modelo	Parámetro
Combo 39áter quality meter	86031 IP 67	Oxígeno disuelto, Temperatura, Conductividad, pH

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

3.1.2 Materiales y equipos del laboratorio

Los siguientes materiales y equipos descritos en la tabla 3. fueron proporcionados por la universidad.

Tabla 3. Materiales y equipos utilizados en el laboratorio de la Universidad.

Material	Cantidad
Crisol	7
Vaso de precipitación 400 mL	1
Varilla de agitación	1
Pinzas	1
Piceta	1
Pipeta	1
Conos Imhoff	4
Probeta	2
Viales	2

Equipo	Marca
Estufa	Memmert
Balanza analítica	
Mufla	Barnstead Thermolyne
Desecador	
Bomba de vacío	Gast Model: DA – P704-4
Turbidímetro	Orbeco Hellige
pH-metro	Hanna Instruments

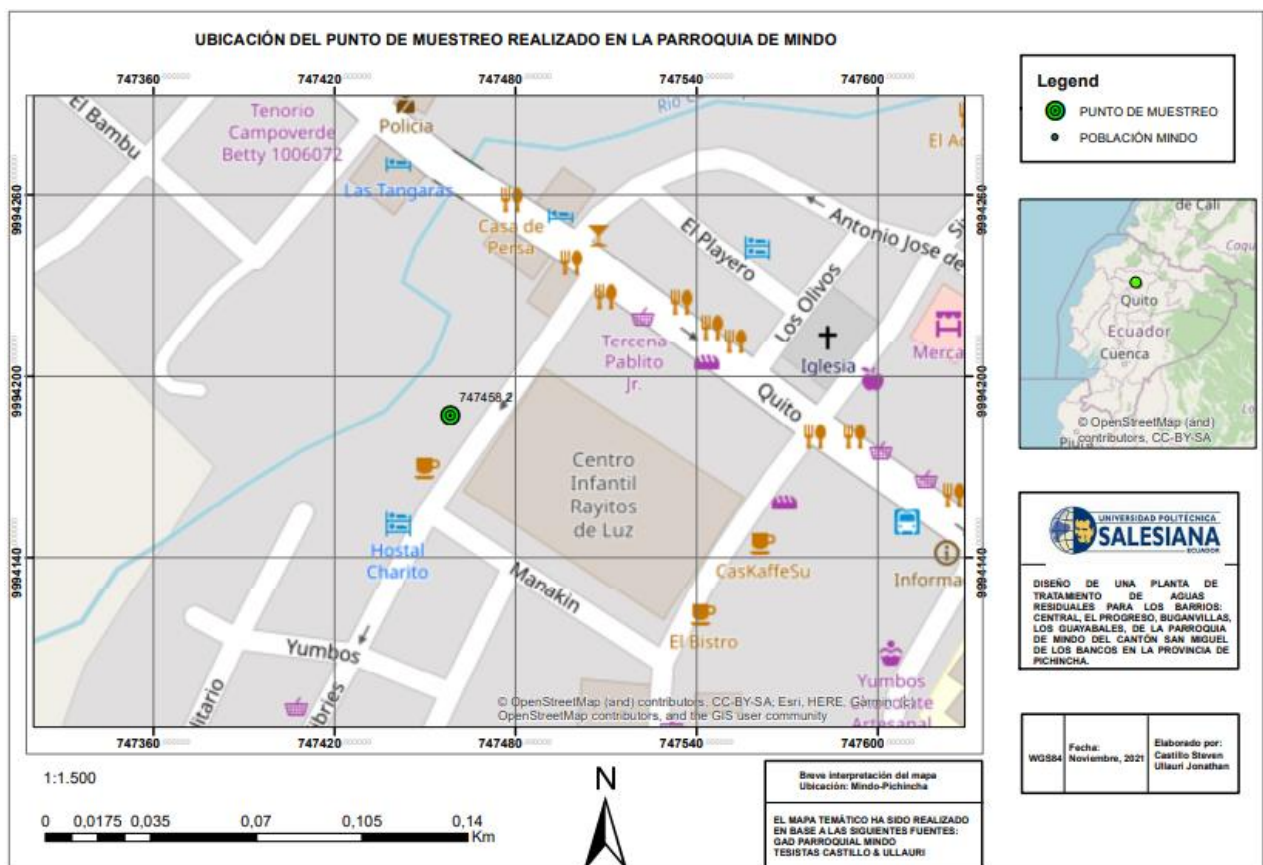
Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

3.1.3 Muestreo

3.1.3.1 Sitio de muestreo

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en la Parroquia de Mindo. Para definir el sitio de muestreo se determinó las zonas o barrios que cuentan con un sistema de alcantarillado, una vez realizada esta determinación se definió el punto de muestreo en la tubería del sistema de alcantarillado que desemboca su caudal al Río Canchupi, cuyas coordenadas UTM son 78.776717 E y 0.05255 S. En el siguiente mapa se presenta el punto de muestreo.

Figura 8. Mapa de ubicación del punto de muestreo



Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

3.2 Metodología

3.2.1 Metodología de campo

3.2.1.1 Análisis estadístico y determinación de muestras

De acuerdo con la Norma INEN 2226 (2013) “Agua. Calidad del agua. Diseño de los programas de muestreo”, se determinó el número de muestras, valor que se empleó en el muestreo de aguas residuales para una población finita en Mindo.

3.2.1.2 Cálculo para determinar el tamaño de la muestra para una población finita

Se aplicó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N + 1) + Z^2 * p * q}$$

N = tamaño de la población (1800 habitantes)

z = nivel de confianza 95% (para obtener muestras

representativas) p y q = probabilidad, valor estándar 50 %

e = error de la muestra 10%

Figura 9. Valor de K según nivel de confianza.

Valor de K según nivel de confianza

Nivel de confianza (%)	99	98	95	90	80	68	50
K	2.58	2.33	1.96	1.64	1.28	1.00	0.67

Fuente: Norma INEN 2226:2013

$$n = \frac{1800}{1 + \frac{0.1^2(1800 - 1)}{1.96^2(0.5)(0.5)}}$$

$$n=90.22 \approx 90 \text{ muestras}$$

En base a la Norma INEN 2176 (2013) “AGUA, CALIDAD DEL AGUA, MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO”, se determinó el tipo de muestra y programa de muestreo para el estudio del agua residual doméstica. Se tomaron varias muestras compuestas. Este tipo de muestreo proporciona datos para composición promedio.

3.2.1.3 Distribución de la muestra compuesta mediante muestras simples en un determinado intervalo de tiempo.

Se estableció un sistema de muestreo de 3 días en los meses de noviembre y diciembre respectivamente, en el primer mes se realizó durante días laborables ya que en estos el caudal es menor al tomado en el mes de diciembre que se llevó a cabo en días no laborables, aquí el caudal es mayor debido a que Míndo es una zona altamente turística. Otra de las razones por la cual el caudal y la calidad del agua varía es la diferencia de precipitación que existió entre estos meses, el primero tuvo un valor de 92,6 mm y en el siguiente mes 201,2 mm.

Tabla 4. Determinación de muestras.

	# muestras simples diarias	Intervalo entre tomas de muestras simples (minutos)	Hora	Volumen (mL)
	1	25	06:30	200
	2	25	06:55	200
	3	25	07:20	200
	4	25	07:45	200
	5	25	08:10	200
	6	25	08:35	200
	7	25	10:00	200
	8	25	10:25	200
	9	25	10:50	200
	10	25	11:15	200
	11	25	11:40	200
	12	25	12:05	200
	13	25	12:30	200
	14	25	13:55	200
	15	25	14:20	200
	16	25	14:45	200
	17	25	15:10	200
	18	25	15:35	200
	19	25	16:00	200
	20	25	16:25	200
	21	25	16:50	200
	22	25	17:15	200
	23	25	17:40	200
	24	25	18:05	200
	25	25	18:30	200
	26	25	18:55	200
	27	25	19:20	200
	28	25	19:45	200
	29	25	20:10	200
	30	25	20:35	200
T o t a l	90 muestras simples			6000 mL

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2021

En el tercer día de muestreo se tomó un total de 30 muestras para así completar las 90 muestras que previamente se había calculado según la NORMA INEN 2226 de la calidad del agua, con un total de 18000 mL por cada mes.

3.2.1.4 Muestreo, manejo y conservación de muestras

Basándose en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 Agua, calidad del agua, muestreo manejo y conservación de muestras se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Manejo y conservación de la muestra
- Tipos de recipientes para la toma de muestra
- Toma de muestras
- Rotulado
- Refrigeración de las muestras
- Transporte de las muestras
- Recepción de las muestras en el laboratorio

3.2.2 Metodología para análisis *in situ*

Previo a la medición de los parámetros *in situ*, se calibró el equipo “Combo 39áter quality meter” como indica el manual de operación, se procedió a medir el pH, oxígeno disuelto, temperatura y conductividad.

3.2.2.1 pH – conductividad –oxígeno disuelto – temperatura

Se enjuagó la sonda con agua destilada antes de su uso para eliminar cualquier impureza adherida en la sonda. Se presionó la tecla de encendido, se sumergió completamente el electrodo en la muestra y se agitó la sonda suavemente para crear una muestra homogénea y acortar el tiempo de estabilización. Finalmente se esperó hasta que la lectura se estabilice.

3.2.2.2 Turbidez

Se calibró el turbidímetro marca “Sper scientific 860040 turbidity meter”, y se colocó una muestra de 10 mL del agua residual en el vial y se esperó hasta que la lectura se estabilice.

3.2.2.3 Conductividad

Una vez calibrado el equipo, se sumergió la parte inferior del aparato, se presionó “SET/HOLD” para cambiar la función y así medir la conductividad.

3.2.3 Metodología para análisis en laboratorio

3.2.3.1 Determinación de sólidos

Tabla 5. Análisis, materiales y norma para la determinación de sólidos

Análisis	Materiales	Norma (Libro de Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales)
Sólidos totales	Mufla, desecador, balanza analítica, estufa, crisoles.	2540 B
Sólidos fijos	Mufla, desecador, balanza analítica, estufa, crisoles.	2540 E
Sólidos volátiles		2540 E
Sólidos sedimentables	Conos Imhoff, vaso de precipitación.	2540 F
Sólidos suspendidos	Bomba de vacío, filtros, estufa, crisol, agua destilada.	2540 D

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2021

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Santos, 1992).

3.2.3.1.1 Sólidos totales (ST)

Se determinó la cantidad de sólidos totales en el cual se utilizó el método 2540 B. del libro de Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, donde en primer lugar se calentó en la estufa 3 crisoles vacíos con capacidad de 100 mL a una temperatura de 105°C durante una hora, posterior a esto se los colocó en el desecador hasta que se necesite para pesarlos en la balanza analítica.

A continuación, para el análisis de la muestra se llevó a cabo un proceso de evaporación en la estufa a 105°C de temperatura por un lapso de 24 horas de 3 crisoles de 100 mL respectivamente con agua residual.

Por último, se colocó en el desecador para equilibrar la temperatura, y posteriormente se pesó en la balanza analítica. (Santos, 1992)

Se determinó mediante la siguiente fórmula la concentración de sólidos totales:

$$ST(\text{mg/L}) = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

A: Peso del crisol más la muestra seca, [mg]

B: Peso del crisol vacío, [mg]

V: Volumen de la muestra, [mL]

3.2.3.1.2 Sólidos fijos (SF)

Se determinó la cantidad de sólidos fijos en el cual se utilizó el método 2540 E. del libro de Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, donde se introdujo en la mufla a una temperatura de 550°C por un lapso de 30 minutos la muestra anterior. Posterior a esto se dejó que disminuya el calor del crisol para transferirlo a un desecador para su enfriamiento final en una atmósfera seca, cuidando de no sobrecargar el desecador. (Santos, 1992).

Se determinó mediante la siguiente fórmula la concentración de sólidos fijos:

$$ST(\text{mg/L}) = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

A: Peso del crisol más la muestra calcinada 550°C, [mg]

B: Peso del crisol vacío, [mg]

V: Volumen de la muestra, [mL]

3.2.3.1.3 Sólidos volátiles (SV)

Se determinó mediante la siguiente fórmula la concentración de sólidos volátiles: (Cueva, 2021).

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

3.2.3.1.4 Sólidos sedimentables (SSed)

Se determinó la cantidad de sólidos sedimentables, en el cual se utilizó el método volumétrico descrito en la norma 2540 E. del libro de Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, donde en primer lugar se homogeneizó la muestra del agua residual, posterior se colocó 1 litro del agua residual en 3 conos Imhoff respectivamente. Se dejó sedimentar durante 45 minutos, y con la varilla de agitación se removió los sólidos impregnados en las paredes del cono. Por último, durante 15 minutos más se dejó sedimentar y se registró el volumen de sólidos sedimentables del cono como milímetros por litro. (Santos, 1992)

3.2.3.1.5 Sólidos suspendidos (SSus)

Se determinó la cantidad de sólidos suspendidos en el cual se utilizó el método volumétrico descrito en la norma 2540 D. del libro de Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, donde se montó el aparato de filtrado y el filtro para iniciar con la succión. Para ajustar el filtro se humedeció éste con una pequeña cantidad de agua destilada. Se filtró 100 mL de la muestra previamente homogeneizada a través de la lámina de papel filtro. Se separó cuidadosamente el filtro del aparato y se lo trasladó sobre un papel aluminio

para que se seque por aproximadamente 3 minutos. Después de que el papel filtro se secó, se retiró del embudo de filtración y se volvió a colocar con cuidado en el crisol previamente secado. Se introdujo el crisol y el filtro con el material retenido en una estufa a 103-105°C durante 1 hora. (Santos, 1992).

Se dejó enfriar para pesar el crisol con la muestra, la diferencia de los pesos la que marca la cantidad de sólidos suspendidos, mediante la fórmula siguiente:

$$SSus(mg/L) = \frac{(C - D) * 1000}{V}$$

C: Peso de la cápsula + el papel filtro con residuo, [mg]

D: Peso de la cápsula vacía + el papel filtro, [mg]

V: Volumen de la muestra, [mL]

3.2.4 Metodología para el tratamiento de aguas residuales

Según (Fajardo, 2005) la relación entre DBO₅/DQO indica que si el valor es menor a 0.2 la materia orgánica es poco degradable, si el valor está entre 0.2 y 0.5 la materia orgánica es moderadamente degradable y si el valor es mayor a 0.5 la materia orgánica es muy degradable. Mediante análisis de laboratorio, el valor de DBO₅ fue de 105,5 mg/L y el valor de DQO fue de 219,5 mg/L. El índice de biodegradación obtenido de la relación entre ambos fue de 0,48. En base a este valor, se determinó que un tratamiento secundario convencional con sistemas biológicos es un enfoque viable, ya que el agua tiene materia orgánica moderadamente degradable.

Por lo tanto, un sistema como el de lagunaje sería un método adecuado para tratar las aguas residuales de la cabecera Cantonal de la Parroquia de Mindo.

Una vez establecida la metodología del sistema de lagunaje, se inicia con el diseño de la PTAR.

3.2.5 Componentes para el diseño de la PTAR:

3.2.5.1 Periodo del diseño

Según (CONAGUA, 2007) menciona que el periodo de diseño recomendado para este tipo de plantas de tratamiento está entre 15 a 20 años, por lo que se decidió usar un periodo de 20 años.

3.2.5.2 Población del proyecto

Según el GAD Parroquial de Mindo (Yaguachi, 2021) la población de los 4 barrios del área de estudio es de 1800 habitantes.

3.2.5.3 Índice de crecimiento poblacional

Se obtuvo el índice de crecimiento poblacional a partir de los datos poblacionales de los años 2001 que fue de 2429 y en el 2010 de 3842 habitantes que fueron obtenidos de los censos de mencionadas fechas (Gobierno Autonomo Decentralizado Parroquia de Mindo, 2012). Para calcular este parámetro se utilizó la siguiente formula:

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

i: Índice de crecimiento

n: Período de análisis, [años]

Pf: Población final, [habitantes]

Po: Población inicial, [habitantes]

$$i = \left(\sqrt[9]{\frac{3842 \text{ habitantes}}{2429 \text{ habitantes}}} \right) - 1$$

$$i = 0,0522 * 100 = 5,22\%$$

3.2.5.4 Cálculo de la población actual

Para la obtención de la población futura, se utilizó un método geométrico, en el cual se calcula un factor de crecimiento para cada par de datos consecutivos, es decir, la relación entre el incremento de la tasa y la población con un periodo de tiempo definido.

$$Pf = Po (1 + i)^t$$

Pf: Población para el año 2042, [habitantes]

Po: Población del año 2022, [habitantes]

i: Índice de crecimiento poblacional

t: Tiempo de diseño, [años]

$$Pf = 1800 \text{ habitantes } (1 + 0,0522)^{20 \text{ años}}$$

$$Pf = 4980 \text{ habitantes para el año 2042}$$

3.2.5.5 Medición del caudal

Se determinó el caudal en el punto de descarga de la tubería del alcantarillado, donde se aplicó el método volumétrico ya que es utilizado para corrientes pequeñas (Alvarado, 2017). Consistió en llenar un recipiente cuyo volumen fue de 6 L y se contó el tiempo total en que se llenó este, el caudal se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q: Caudal, [L/s]

V: Volumen del recipiente, [L]

T: Tiempo de llenado, [s]

3.2.5.6 Dotación de agua

3.2.5.6.1 Cálculo del caudal de diseño

Este cálculo se encontró en el libro de dimensionamiento de lagunas de estabilización de Cortés et al. (2017).

$$Q_d = \frac{P_f * D * C_R}{86400}$$

Q_d : Caudal de diseño, [m^3 /día]

P_f : Población final, [habitantes]

D : Dotación, [L/ habitantes /día] (en base a la Norma INEN 1 680. CO 01.09 – 407, se adoptó como dotación para clima cálido con población mayor a 500 habitantes de 150 L/Hab*día)

C_R : Coeficiente de Retorno, [0,8] (RAS, 2000).

Q : Caudal promedio de las tomas de muestra que se realizó en los meses de noviembre y diciembre.

$$Q_d = \frac{4980 \text{ habitantes} * 150 \frac{\text{L}}{\text{habitantes} * \text{día}} * 0,8}{\frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}}}$$

$$Q_d = 6,92 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 597,88 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$Q_d = 597,88 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + Q$$

$$Q_d = 600 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 75,17 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$Q_d = 675,17 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \text{ ó } 0,0078 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.2.6 Diseño de la PTAR

3.2.6.1 Diseño del canal de ingreso

El trabajo de investigación de los autores (Guerrero y Heredia, 2021) se utilizó para el diseño de las siguientes unidades:

- Se consideró que el ancho del canal es de 0,5 m.
- El coeficiente de rugosidad para hormigón, paredes lisas es de = 0,013
- Pendiente= 1%

a) Cálculo del Coeficiente de Manning.

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

Dónde:

K= Coeficiente de rugosidad Manning.

Q_d = Caudal de diseño (m³ /s)

b= ancho canal (m)

n= Coeficiente de rugosidad

S = Pendiente del canal rectangular revestido de hormigón %

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

$$K = \frac{0,0078 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0,013}{0,5^{\frac{8}{3}} * 0,01^{\frac{1}{2}}}$$

$$K = 6,44 * 10^{-3}$$

b) Altura máxima del agua del canal

$$H_{\text{max}} = 1,6624 * K^{0,74232} * b$$

Dónde:

H_{max} = Altura máxima del agua del canal (m)

K= Coeficiente de Manning

b= Ancho del canal (m)

$$H_{\text{max}} = 1,6624 * (6,44 * 10^{-3})^{0,74232} * 0,5\text{m}$$

$$H_{\text{max}} = 0,01964 \text{ m} = 1,96 \text{ cm}$$

c) Radio hidráulico

$$RH = \frac{b * H_{\text{max}}}{b + 2H_{\text{max}}}$$

Dónde:

RH: Radio hidráulico, [m]

b= Ancho del canal (m)

H_{\max} = Altura máxima (m)

$$RH = \frac{0,50 \text{ m} * 0,01964 \text{ m}}{0,50 \text{ m} + (2 * 0,01964\text{m})} = 0,0182 \text{ m}$$

d) Velocidad media del canal.

$$V_{\text{md}} = \frac{1}{n} RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

V_{md} : Velocidad media del canal, [m/s]

n: Coeficiente de rugosidad de Manning,

S = Pendiente del canal rectangular revestido de hormigón %

RH: Radio hidráulico, [m]

$$V_{\text{md}} = \frac{1}{0,013} (0,0182 \text{ m})^{\frac{2}{3}} * (0,01)^{\frac{1}{2}} = 0,53 \text{ m/s}$$

e) Cálculo del área transversal del canal.

$$A_c = \frac{Q_d}{V_{\text{md}}}$$

Dónde:

A_c : Área transversal del canal, [m²]

Q_d : Caudal de diseño, [m³/s]

V_{md} : Velocidad media del canal, [m/s]

$$A_c = \frac{0,0078 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,53 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,0147 \text{ m}^2$$

f) Cálculo de la altura total del canal.

Según (Rodríguez Ruíz, 2008) cuando el caudal es menor a $0.50 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ su valor del borde libre

es de 0.30 m, en este caso el caudal es de $0,0078 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$.

$$H_{TC} = h_{\max} + b_{\text{libre}}$$

Dónde:

H_{TC} : Altura total del canal, [m]

H_{\max} = Altura máxima del agua del canal (m)

b_{libre} : Borde libre, [m]

$$H_{TC} = 0,01964 \text{ m} + 0,30 \text{ m} = 0,31964 \text{ m}$$

3.2.6.2 Diseño de la criba

Los siguientes datos recomendados y cálculos se establecieron mediante el trabajo de titulación de (Sánchez, 2018).

- Altura de seguridad = 1m
- Velocidad a través de las barras = 0,6 m/s
- Ángulo de inclinación (barras) = 45°
- Separación de las barras = 0,005 m
- Espesor (barras) = 0,015 m
- Coeficiente forma (barras) = 2,48 (A: Rectangular)

A. Cálculo del área libre de las rejillas.

$$A_{\text{libre}} = \frac{Q_d}{V}$$

A_{libre} : Área libre del paso de agua de las rejillas, [m²]

Q_d : Caudal de diseño, [m³/s]

V : Velocidad de flujo, [m/s]

$$A_{\text{libre}} = \frac{0,0078 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,60 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,013 \text{ m}^2$$

B. Cálculo de la altura del tirante en el canal.

$$h_{\text{tc}} = \frac{A_{\text{libre}}}{B_c}$$

h_{tc} : Altura del tirante en el canal, [m]

A_{libre} : Área libre del paso de agua de las rejillas, [m²]

B_c : Ancho del canal, [m];

$$h_{\text{tc}} = \frac{0,013 \text{ m}^2}{0,5 \text{ m}} = 0,026 \text{ m}$$

C. Cálculo de la altura total del canal

$$h_c = h_{\text{tc}} + h_s$$

h_c : Altura del tirante de construcción, [m]

h_{tc} : Altura del tirante en el canal, [m]

h_s : Altura de seguridad 1 m, [m].

$$h_c = 0,026 \text{ m} + 1 \text{ m} = 1,026 \text{ m}$$

D. Cálculo de la longitud de las barras.

$$L_{\text{barras}} = \frac{h_c}{\text{Sen } \phi}$$

L_{barras} : Longitud de las barras, [m]

h_c : Altura del tirante de construcción, [m]

ϕ : Angulo de inclinación de las barras, [°].

$$L_{barras} = \frac{1,026 \text{ m}}{\text{Sen}(45^\circ)} = 1,45 \text{ m}$$

E. Cálculo de la pérdida de carga en las barras.

$$h_p = \beta * \left(\frac{S_{barras}}{eb}\right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{V}{2g}\right) * \text{sen}\phi$$

h_p : Pérdida de carga en las barras, [m]

β : Factor de forma de las barras, [adimensional],

S_{barras} : Separación entre las barras, [m]

eb : Espesor de barras, [m]

V : Velocidad de flujo, [m/s]

g : Gravedad, [m/s²]

ϕ : Angulo de inclinación de las barras, [°],

$$h_p = 2,48 * \left(\frac{0,005 \text{ m}}{0,015 \text{ m}}\right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{0,60 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}\right) * \text{sen}(45)$$

$$h_p = 0,012 \text{ m}$$

F. Cálculo del número de barras.

$$N_{barras} = \frac{B_c - S_{barras}}{eb + S_{barras}}$$

S_{barras} : Separación entre las barras, [m]

eb : Espesor de barras, [m]

B_c : Ancho del canal, [m];

$$N_{barras} = \frac{0,50 \text{ m} - 0,005 \text{ m}}{0,015 \text{ m} + 0,005 \text{ m}} = 24,75 \approx 25 \text{ barras}$$

3.2.6.3 Diseño del desarenador

Los siguientes datos recomendados y cálculos se establecieron en base al libro "Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización". Fuente: Metcalf y Eddy (2000).

- Base del desarenador = 2,80 m
- Altura de agua en el desarenador= 2m

A. Diseño de la transición al canal.

$$LT = \frac{B_d - B_c}{2 * \tan 12,5^\circ}$$

B_d : Base del desarenador, [m]

B_c : Ancho del canal, [m]

$$LT = \frac{2,80 \text{ m} - 0,50 \text{ m}}{2 * \tan 12,5^\circ} = 5,19 \text{ m}$$

B. Velocidad de flujo en el sedimentador.

El diámetro de la partícula obtenido en el laboratorio mediante tamices estándares fue de 0,5 mm. El peso específico de la partícula es de $\gamma = 2,65 \text{ g/cm}^3$. Según (Barnuevo, 2018). El valor "a" de acuerdo al diámetro de la partícula de $0,1\text{mm} < d < 1\text{mm}$ es 44.

$$V = a * \sqrt{d}$$

V : Velocidad de flujo, [cm/s]

d : Diámetro de la partícula, [mm]

$$V = a * \sqrt{d}$$

$$V = 44 * \sqrt{0,5 \text{ mm}} = 31,11 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0,3111 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

C. Velocidad de sedimentación de la partícula calculada a partir de varios autores.

Fórmula de Scotti – Folglieut

$W_o = 3,8 * \sqrt{d + 8,3 * d} W_o$: Velocidad de sedimentación, [m/s]

d: Diámetro de la partícula, [mm]

$$W_o = 3,8 * \sqrt{0,5 \text{ mm} + 8,3 * 0,5 \text{ mm}} = 8,19 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 0,0819 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Fórmula de Owens

Según el autor (Barnuevo, 2018) menciona que si el diámetro de partícula es menor a 7mm el valor “k” es 1,28

$$W_o = k * \sqrt{d * (\gamma - 1)}$$

γ : Peso específico, [g/cm³]

$$W_o = 1,28 * \sqrt{0,0005 \text{ m} * (2,65 - 1)} = 0,0367 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dato Propuesto por Arkhangelski

Según el autor (Barnuevo, 2018) menciona que si el diámetro de partícula es igual a 0,5 el valor “Wo” es $5,4 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

Valor promedio de la velocidad de sedimentación

$$W_{o \text{ Promedio}} = \frac{0,0819 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,0367 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,054 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3} = 0,0575 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

D. Longitud del desarenador.

Según el autor (Barnuevo, 2018) menciona que si la velocidad de flujo es aproximadamente 0,30 m/s el valor K es igual a 1,5

$$L = \frac{V * H}{W_o} * K$$

$$L = \frac{0,3111 \frac{m}{s} * 2m}{0,0575 \frac{m}{s}} * 1,50$$

$$L = 16,23 m \approx 16,25 m$$

3.2.6.4 Diseño del sistema lagunar

Los siguientes cálculos se establecieron mediante el libro de dimensionamiento de lagunas de estabilización de Cortés et al. (2017).

3.2.6.4.1 Diseño de la laguna anaerobia

Se procedió con el diseño a partir de los siguientes datos.

- Caudal de diseño: $675,17 \frac{m^3}{día}$
- $DBO_5 = 105,5 \frac{mg}{L}$
- *Temperatura ambiente* = $22^\circ C$
- *Coliformes fecales* = $22000 NMP/100 ML$
- *Precipitación al día* = $10,96 mm$

A. Carga orgánica.

$$C. O. = \frac{Q_d * DBO_5}{1000}$$

C.O. = carga orgánica, [Kg]

Q_d = caudal de diseño, [$m^3/día$]

DBO_5 = concentración de la DBO_5 en la entrada, [mg/L]

1000 = factor de conversión

$$C. O. = \frac{675,17 \frac{m^3}{día} * 105,5 \frac{mg}{L}}{1000} = 71,23 \frac{kg}{día}$$

B. Carga volumétrica de diseño

Se tomó en cuenta la temperatura del aire del mes más frío: $16^\circ C$

$$\lambda v = 20T - 100$$

$$\lambda v = 20(16) - 100$$

$$\lambda v = 220 \frac{g \text{ de DBO5}}{m^3 * \text{día}}$$

C. Volumen de la laguna.

$$V = \frac{L_i * Q_d}{\lambda_v}$$

V = volumen, [m³]

L_i = DBO₅, [mg/L]

Q_d = caudal de diseño, [m³/día]

λ_v = carga orgánica volumétrica, [gDBO₅/m³*día]

$$V = \frac{105,5 \frac{mg}{L} * 675,17 \frac{m^3}{día}}{220} = 323,77 m^3$$

D. Área de la laguna.

Profundidad de la laguna recomendada (Z = de 2 a 4 metros). Se consideró una profundidad de 4 metros.

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

A = Área de la laguna, [m²]

Z = Profundidad, [m]

V = Volumen de la laguna, [m³]

$$A = \frac{323,77 m^3}{4 m} = 80,94 m^2$$

E. Tiempo de retención hidráulica.

$$t_R = \frac{V}{Q_d}$$

t_R = Tiempo de retención hidráulico, [días]

V = Volumen, [m^3]

Q_d = caudal de diseño, [$m^3/día$]

$$t_R = \frac{323,77 \text{ m}^3}{675,17 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 0,48 \text{ días}$$

Datos obtenidos del libro Dimensionamiento para lagunas de estabilización Cortés et al. (2017).

Tabla 6. Datos para la remoción de la DBO_5 en lagunas anaerobias.

Tiempo de retención (d)	DBO_5 removida (%)
0,12	20
0,40	30
0,71	35
1,30	40
2,40	45

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2021.

Con los datos de la tabla anterior se realizó la interpolación para obtener el valor del porcentaje de DBO_5 removido.

$$\frac{DBO_{5 \text{ removido}} - 30}{0,48 - 0,40} = \frac{35 - 30}{0,71 - 0,40}$$

$$DBO_{5 \text{ removido}} = 31,29 \%$$

F. Concentración de DBO_5 en el efluente de la laguna.

$$DBO_{5 \text{ efluente}} = (100\% - \%DBO_{\text{removido}}) * DBO_5$$

$$DBO_5 \text{ efluente} = \left(\frac{100\% - 31,29\%}{100} \right) * 105,5 \frac{mg}{L} = 72,49 \frac{mg}{L}$$

G. Gasto en el efluente corregido por el balance hídrico.

De acuerdo con Cortés et al. (2017) la superficie de las lagunas anaerobias está cubiertas por una capa de nata, por lo cual se evita en forma significativa la evaporación.

Por otra parte, se consideró que se impermeabilizó la laguna con geomembrana de polietileno 0,5mm, de esta manera no existe pérdida por percolación y tampoco infiltración de agua subterránea hacia la laguna.

$$Q_e = Q_d + (P_r + P_c) - (E + P_e)$$

Q_e = Gasto en el efluente, [m³/día]

Q_d = Caudal de diseño, [m³/día]

P_r = Precipitación sobre la laguna, [mm/día]

P_c = Infiltración de agua subterránea hacia la laguna

E = Evaporación, [mm/día]

P_e = Pérdida por percolación

A = Área de aportación, [m²]

$$10,96 \frac{mm}{día} = 10,96 \frac{L}{m^2} * A$$

$$10,96 \frac{mm}{día} = 10,96 \frac{L}{m^2} * 80,94 m^2$$

$$\text{Precipitación} = 887,10 \frac{L}{día} \text{ ó } 0,89 \frac{m^3}{día}$$

$$Q_e = 675,17 \frac{m^3}{día} + \left(0,89 \frac{m^3}{día} + 0 \right) - (0 + 0)$$

$$Q_e = 676,06 \frac{m^3}{día}$$

H. Remoción de coliformes fecales.

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

$K_t(d^{-1})$ = Constante global de decaimiento, [d^{-1}]

T = Temperatura, [°C]

$$K_t(d^{-1}) = 2,6(1,19)^{22-20} = 3,68 d^{-1}$$

I. Coliformes fecales en el efluente de la laguna.

$$N_e = \frac{N_i}{1 + K_t * t_R}$$

N_e = Coliformes fecales en la salida, [NMP/100mL]

N_i = Coliformes fecales en la entrada, [NMP/100mL]

t_R = Tiempo de retención hidráulico, [días]

K_t = Constante

$$N_e = \frac{22000 \text{ NMP}/100\text{ml}}{1 + 3,68 d^{-1} * 0,48 \text{ día}}$$

$$N_e = 7952,57 \text{ NMP}/100\text{ml}$$

J. DBO_5 corregida por el balance hídrico

$$DBO_{5_{corr}} = \frac{DBO_{5_{efluente}} * Q_d}{Q_e}$$

$DBO_{5_{efluente}}$ = Concentración de DBO_5 en el efluente de la Laguna, [mg/L]

Q_d = Caudal de diseño, [$m^3/día$]

Q_e = Gasto en el efluente, [$m^3/día$]

$$DBO_{5_{corr}} = \frac{72,49 \frac{mg}{L} * 675,17 \frac{m^3}{día}}{676,06 \frac{m^3}{día}} = 72,39 \frac{mg}{L}$$

K. Coliformes fecales corregidos por el balance hídrico

$$N_{e_{corr}} = \frac{N_e * Q_d}{Q_e}$$

N_e = Coliformes fecales en la salida, [NMP/100mL]

Q_d = Caudal de diseño, [$m^3/día$]

Q_e = gasto en el efluente, [$m^3/día$]

$$N_{e_{corr}} = \frac{7952,57 \text{ NMP/100mL} * 675,17 \frac{m^3}{día}}{676,06 \frac{m^3}{día}}$$

$$N_{e_{corr}} = 7942,10 \text{ NMP/100mL}$$

L. Dimensionamiento: relación largo-ancho

Se consideró una relación Largo-Ancho de $X = 2$ y se incluyó un talud de 0:1.

$$B_{PROMEDIO} = \sqrt{\frac{A}{X}}$$

$B_{PROMEDIO}$ = Ancho de la laguna, [m]

$$B_{PROMEDIO} = \sqrt{\frac{80,94 \text{ m}^2}{2}} = 6,36 \text{ m}$$

Longitud promedio

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

$L_{PROMEDIO}$ = Longitud promedio de la laguna, [m]

$$L_{PROMEDIO} = \frac{80,94 \text{ m}^2}{6,36 \text{ m}} = 12,73 \text{ m}$$

Ancho superior de la laguna

Se consideró un talud de 0:1.

$$B_{SUPERIOR} = B_{PROMEDIO} + Z(\text{Talud})$$

B_{SUB} = Ancho superior de la laguna, [m]

Z= Profundidad de la laguna, [m]

$$B_{SUPERIOR} = 6,36 \text{ m} + (0) = 6,36 \text{ m}$$

Largo superior de la laguna

$$L_{SUPERIOR} = L_{PROMEDIO} + Z(Talud)$$

$L_{SUPERIOR}$ = Largo superior de la laguna, [m]

$$L_{SUPERIOR} = 12,73 \text{ m} + (0) = 12,73 \text{ m}$$

Área superficial

$$A_{SUPERFICIAL} = B_{SUPERIOR} * L_{SUPERIOR}$$

$A_{SUPERFICIAL}$ = Área superficial, [m]

$$A_{SUPERFICIAL} = 6,36 \text{ m} * 12,73 \text{ m} = 80,96 \text{ m}^2$$

Ancho inferior de la laguna

$$B_{INFERIOR} = B_{PROMEDIO} - Z(Talud)$$

$B_{INFERIOR}$: Ancho inferior de la laguna, [m]

$$B_{INFERIOR} = 6,36 \text{ m} - (0) = 6,36 \text{ m}$$

Largo inferior de la laguna

$$L_{INFERIOR} = L_{PROMEDIO} - Z(Talud)$$

$L_{INFERIOR}$: Largo inferior de la laguna, [m]

$$L_{INFERIOR} = 12,73 \text{ m} - (0) = 12,73 \text{ m}$$

Los muros son verticales: pueden ser construidos de cemento o mampostería.

3.2.6.4.2 Diseño de la laguna facultativa

Se procedió con el diseño a partir de los datos obtenidos de la laguna facultativa.

- Gasto en el efluente= $676,06 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$

- DBO_5 corregida por el balance hídrico = $72,39 \frac{mg}{L}$
- $DQO = 219,5 \frac{mg}{L}$
- *Indice de Biodegradación* = 0,48
- Coliformes fecales corregidos por el balance hídrico = $7942,10 \text{ NMP}/100mL$
- *Temperatura ambiente* = $22^\circ C$
- *Precipitación al día* = $10,96 \frac{mm}{día}$
- *Evaporación* = $2,99 \frac{mm}{día}$

A. Carga orgánica.

$$C.O. = \frac{Q_e * DBO_{5\text{ corr}}}{1000}$$

C.O.= Carga orgánica medida, [kg/día]

$$C.O. = \frac{676,06 \text{ m}^3/\text{día} * 72,39 \text{ mg}/L}{1000} = 48,94 \text{ kg}/\text{día}$$

B. Carga superficial de diseño.

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

λ_s = Carga orgánica superficial, [kg DBO_5 / ha * día]

T= Temperatura, [°C]

$$\lambda_s = 250 (1,085)^{22-20} = 294,31 \text{ kg}DBO_5/\text{ha} * \text{día}$$

C. Área de la laguna facultativa (área promedio).

$$A_f = \frac{10 * DBO_{5\text{ corr}} * Q_e}{\lambda_s}$$

A_f = Área de la laguna facultativa, [m^2]

$DBO_{5\text{ corr}}$ = DBO_5 corregida en el efluente, [mg/L]

Q_e = Gasto del efluente, [m^3 /día]

$$A_f = \frac{10 * 72,39 \frac{mg}{L} * 676,06 \frac{m^3}{día}}{294,31 \frac{kgDBO_5}{ha * día}} = 1662,87 m^2$$

D. Volumen de la Laguna.

Profundidad de la laguna recomendada (Z = de 1,5 a 1,8 metros). Se consideró una profundidad de 1,8 metros.

$$V = A_f * Z$$

V = Volumen, [m^3]

Z = profundidad, [m]

$$V = 1662,87 m^2 * 1,8 m = 2993,17 m^3$$

E. Tiempo de retención hidráulico.

$$t_{RF} = \frac{V}{Q_e}$$

t_{RF} = Tiempo de retención hidráulica, [días]

$$t_{RF} = \frac{2993,17 m^3}{676,06 m^3/día} = 4,43 \text{ días}$$

F. Dimensionamiento: largo-ancho.

Se recomienda una relación largo-ancho de $X = 3$. Para los bordes se considera un talud de 2:1.

$$B_{PROMEDIO} = \sqrt{\frac{A_f}{X}}$$

$B_{PROMEDIO}$ = Ancho de la laguna de estabilización, [m]

$$B_{PROMEDIO} = \sqrt{\frac{1662,87 m^2}{3}} = 23,54 m$$

Longitud promedio

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

$L_{PROMEDIO}$ = Longitud de la laguna de estabilización, [m]

$$L_{PROMEDIO} = \frac{1662,87 \text{ m}^2}{23,54 \text{ m}} = 70,64 \text{ m}$$

Ancho superior de la laguna

$$B_{SUPERIOR} = B_{PROMEDIO} + Z(Talud)$$

$$B_{SUPERIOR} = 23,54 \text{ m} + (1,8 * 2) = 27,14 \text{ m}$$

Largo superior de la Laguna

$$L_{SUPERIOR} = L_{PROMEDIO} + Z(Talud)$$

$$L_{SUPERIOR} = 70,64 \text{ m} + (1,8 * 2) = 74,24 \text{ m}$$

Área superficial

$$A_{SUPERFICIAL} = B_{SUPERIOR} * L_{SUPERIOR}$$

$$A_{SUPERFICIAL} = 27,14 \text{ m} * 74,24 \text{ m} = 2014,87 \text{ m}^2$$

Ancho inferior de la laguna

$$B_{INFERIOR} = B_{PROMEDIO} - Z(Talud)$$

$$B_{INFERIOR} = 23,54 \text{ m} - (1,8 * 2) = 19,94 \text{ m}$$

Largo inferior de la laguna

$$L_{INFERIOR} = L_{PROMEDIO} - Z(Talud)$$

$$L_{INFERIOR} = 70,64 \text{ m} - (1,8 * 2) = 67,04 \text{ m}$$

G. Gasto en el efluente corregido por el balance hídrico.

De acuerdo con Cortés et al. (2017) se tomó en cuenta el mes más crítico evaporación.

Se obtuvo el dato de la evaporación mensual del año 2013 de (Ronquillo, 2019).

Por otra parte, se impermeabilizó la laguna con geomembrana de polietileno 0,5mm, de esta manera no existe pérdida por percolación y tampoco infiltración de agua subterránea hacia la laguna.

$$Q_{e_{corr}} = Q_e + (P_r + P_c) - (E + P_e)$$

$Q_{e_{corr}}$: Gasto del efluente corregido por el balance hídrico, [$m^3/día$]

Q_e = Gasto del efluente, [$m^3/día$]

P_r = Precipitación sobre la laguna, [$m^3/día$]

P_c = Infiltración de agua subterránea hacia la laguna

E = Evaporación, [mm/día]

P_e = Pérdida por percolación

A = Área de aportación, [m^2]

$$10,96 \frac{\text{mm}}{\text{día}} = 10,96 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} * A$$

$$10,96 \frac{\text{mm}}{\text{día}} = 10,96 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} * 2014,87 \text{ m}^2$$

$$\text{Precipitación} = 22082,98 \frac{\text{L}}{\text{día}} \text{ ó } 22,08 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$2,99 \frac{\text{mm}}{\text{día}} = 2,99 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} * A$$

$$2,99 \frac{\text{mm}}{\text{día}} = 2,99 \frac{\text{L}}{\text{m}^2} * 2014,87 \text{ m}^2$$

$$\text{Evaporación} = 6024,46 \frac{\text{L}}{\text{día}} \text{ ó } 6,02 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$Q_{e_{corr}} = 676,06 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + \left(22,08 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 0 \right) - \left(6,02 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + 0 \right)$$

$$Q_{e_{corr}} = 692,12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

H. Remoción de coliformes fecales.

Se recomienda una relación largo-ancho de $X = 3$.

$$X = \frac{L_{PROMEDIO}}{B_{PROMEDIO}}$$
$$X = \frac{70,64 \text{ m}}{23,54 \text{ m}} = 3$$

Coefficiente de dispersión

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

d = Factor de dispersión, [adimensional]

X = relación largo ancho

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

Coefficiente de reducción bacteriana

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

K_b = Coeficiente de decaimiento bacteriano, [día^{-1}]

$$K_b = 0,841(1,075)^{22-20} = 0,97 \text{ día}^{-1}$$

Constante "a"

$$a = \sqrt{1 + 4K_b * t_{RF} * d}$$

$$a = \sqrt{1 + 4(0,97 \text{ día}^{-1}) * 4,43 \text{ días} * 0,3118} = 2,52$$

I. Coliformes fecales en el efluente de la laguna facultativa.

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

$\frac{N_f}{N_o}$: Coeficiente de coliformes fecales remanentes en el efluente

$$\frac{N_f}{N_o} = \frac{4 * 2,52 * e^{\left(\frac{1-2,52}{2*0,3118}\right)}}{(1+2,52)^2} = 0,071$$

Coliformes fecales en el efluente de la laguna

$$Ne_{efluente} = \frac{N_f}{N_o} * Ne_{corr}$$

$$Ne_{efluente} = 0,071 * 7942,10 = 563,89 \frac{NMP}{100 mL}$$

J. Coliformes fecales corregidos por el balance hídrico.

$$Ne_{efl-corr} = \frac{Ne_{efluente} * Q_e}{Q_{e_{corr}}}$$

$$Ne_{efl-corr} = \frac{563,89 \frac{NMP}{100 mL} * 676,06 m^3/día}{692,12 m^3/día} = 550,81 \frac{NMP}{100 mL}$$

K. Concentración de la DBO_5 en el efluente de la laguna y constante para lagunas facultativas

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

$$K_f = \frac{1,2}{(1,085)^{35-22}} = 0,42 \text{ día}^{-1}$$

Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el efluente de la laguna

$$DBO_{5e} = \frac{DBO_{5corr}}{K_f * t_{RF} + 1}$$

$$DBO_{5e} = \frac{72,39 \text{ mg/L}}{(0,42 \text{ día}^{-1} * 4,43 \text{ días}) + 1} = 25,31 \text{ mg/L}$$

L. Eficiencia de la remoción de la DBO_5 .

$$\% = \frac{(DBO_{5corr} - DBO_{5e})}{DBO_{5corr}} * 100$$

$$\% = \frac{(72,39 \text{ mg/L} - 25,31 \text{ mg/L})}{72,39 \text{ mg/L}} * 100 = 65,04 \%$$

M. DBO_5 corregida por el balance hídrico.

$$DBO_{5\text{ corr-efluente}} = \frac{Q_e * DBO_{5e}}{Q_{e\text{ corr}}}$$

$$DBO_{5\text{ corr-efluente}} = \frac{676,06\text{ m}^3/\text{día} * 25,31\text{ mg/L}}{692,12\text{ m}^3/\text{día}} = 24,72\text{ mg/L}$$

N. Determinación de la DQO

Según (Fajardo D. , 2005) la DQO se estima a partir de la siguiente relación:

$$DQO = \frac{DBO_{5\text{ corr-efluente}}}{0,60}$$

$$DQO = \frac{24,72\text{ mg/L}}{0,60} = 41,2\text{ mg/L}$$

También se determinó la DQO mediante la relación que se obtuvo para saber el índice de biodegradación que fue de 0,48 (Fajardo D. , 2005).

$$\frac{DBO_{5\text{ corr-efluente}}}{DQO} = \text{índice de Biodegradación}$$

$$\frac{24,72\text{ mg/L}}{DQO} = 0,48$$

$$DQO = 51,5\text{ mg/L}$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados in situ

Tabla 7. Resultados in situ de agua residual.

Semana	pH	Conductividad [mS/cm]	Oxígeno disuelto [mg/L]	Turbidez [NTU]	Temperatura [°C]
17 al 19 de noviembre	6,95	25,3	9,4	35,72	21,3
11 al 13 de diciembre	7,14	25,9	9,1	36,38	21,8
Total, promedio	7,05	25,6	9,3	36,05	21,55
Límites	6-9	-	-	-	Condición
Norma 097-A					Natural ± 3

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

Los resultados obtenidos se comparan con el Anexo 1 del libro VI del TULSMA del 30 de julio del 2015, AM 097-A, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

4.1.2 Análisis de laboratorio externo

Se enviaron muestras de agua residual a Chávez Solutions Laboratorio Ambiental

Tabla 8. Resultados de muestras enviadas a analizar al laboratorio.

Semana	Nitrógeno Amoniacal	DQO [mg/L]	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Fósforo Total	DBO ₅ [mg/L]
--------	------------------------	---------------	-----------------------	-----------------------	------------------	----------------------------

	[mg/L]		[Colonias/ 100 mL]	[Colonias/ 100 mL]	[mg/L]	
17 al 19						
de						
noviembre	-	224	25000	52000	0,58	102
11 al 13						
de	11	215	19000	44000	1,8	109
diciembre						
Total, promedio	11	219,5	22000	48000	1,19	105,5
Límites						
Norma	30	200	2000	-	10	100
097-A						

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

Nota: Los resultados obtenidos se comparan con el Anexo 1 del libro VI del TULSMA del 30 de julio del 2015, AM 097-A, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Los valores de DBO₅, DQO y coliformes fecales indicaron incumplimiento de la normativa.

4.1.3 Análisis de laboratorio en la Universidad

Los resultados obtenidos en el laboratorio se los realizaron mediante la metodología mencionada anteriormente.

Tabla 9. Resultados de sólidos obtenidos en el laboratorio de la universidad

Semana	ST [mg/L]	SSed [mg/L]	SF [mg/L]	SV [mg/L]	SSus [mg/L]

17 al 19 de noviembre	280,69	3,36	130,69	150	73
11 al 13 de diciembre	268,12	2,4	125,12	143	63
Total, promedio	274,41	2,88	127,91	146,5	68
Límites -					
Norma 097-A	1600	-	-	-	130

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

Nota: Los resultados obtenidos se comparan con el Anexo 1 del libro VI del TULSMA del 30 de julio del 2015, AM 097-A, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

4.1.4 Aforamiento del caudal

Los resultados obtenidos del aforamiento del caudal se los realizaron mediante la metodología mencionada anteriormente, midiéndolo antes de realizar el muestreo de las aguas residuales con un total de 30 muestras diarias durante 3 días en los diferentes meses.

Tabla 10. Aforamiento para la obtención del caudal

Fechas de medición	Tiempo [s]	Volumen [L]	Caudal [L/s]
17/11/2021	8,91	6	0,67
18/11/2021	7,53	6	0,80
19/11/2021	6,27	6	0,96

11/12/2021	5,02	6	1,20
12/12/2021	5,57	6	1,08
13/12/2021	7,97	6	0,75
Total, promedio	6,88	6	0,87

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

Nota: De cada día se determinó el promedio de las 30 muestras diarias y se colocó en esta tabla.

4.2 Resultados del dimensionamiento de las unidades de tratamiento

4.2.1. Dimensiones del canal de ingreso

Tabla 11. Dimensiones del canal de ingreso

Parámetro	Valor	Unidad	Abreviatura
Altura máxima del agua del canal	0,01964	m	H _{max}
Ancho del canal (propuesta)	0,5	m	b
Radio hidráulico	0,0182	m	RH
Área transversal del canal	0,0147	m ²	A _c
Altura total del canal	0,31964	m	H _{TC}
Pendiente	1	%	P

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

4.2.2. Dimensiones de la Criba

Tabla 12. Dimensiones de la Criba

Parámetro	Valor	Unidad	Abreviatura
Área libre al paso de agua	0,013	m ²	A _{libre}

Longitud de las barras	1,45	m	L_{barras}
Número de barras	25	-	N_{barras}
Pérdida de energía	0,012	m	h_p
Ancho	0,5	m	B

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

4.2.3. Dimensionamiento del desarenador

Tabla 13. Dimensionamiento del desarenador

Parámetro	Valor	Unidad	Abreviatura
Profundidad	2	m	P
Ancho	2,8	m	a
Largo	16,25	m	L

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

4.2.4. Dimensionamiento de la laguna anaerobia

Tabla 14. Dimensionamiento de la laguna anaerobia

Parámetro	Valor	Unidad	Abreviatura
Gasto en el afluente	676,06	$m^3/día$	Q_e
Profundidad	4	m	Z
Volumen de agua	323,77	m^3	V
Tiempo de retención	0,48	días	t_R
Relación Largo-Ancho	2	-	X
Talud	0:1	-	-

Ancho Superior	6,36	m	B_{SUPERIOR}
Largo Superior	12,73	m	L_{SUPERIOR}
Ancho Inferior	6,36	m	B_{INFERIOR}
Largo Inferior	12,73	m	L_{INFERIOR}
Área Superficial	80,96	m ²	$A_{\text{SUPERFICIAL}}$

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

4.2.5. Dimensionamiento de la laguna facultativa

Tabla 15. Dimensionamiento de la laguna facultativa

Parámetro	Valor	Unidad	Abreviatura
Gasto en el afluente	676,06	m ³ /día	$Q_{e_{corr}}$
Profundidad	1,8	m	Z
Volumen de la laguna	2993,17	m ³	V
Tiempo de retención	4,43	días	t_R
Relación Largo-Ancho	3	-	X
Talud	2:1	-	-
Ancho Superior	27,14	m	B_{SUPERIOR}
Largo Superior	74,24	m	L_{SUPERIOR}
Ancho Inferior	19,94	m	B_{INFERIOR}
Largo Inferior	67,04	m	L_{INFERIOR}
Área Superficial	2014,87	m ²	$A_{\text{SUPERFICIAL}}$

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

4.2.6. Condiciones del agua residual después del tratamiento lagunar

Tabla 16. Condiciones del agua residual después del tratamiento lagunar

DBO ₅	Coliformes Fecales	DQO
------------------	--------------------	-----

	[mg/L]	[Colonias/ 100 mL]	[mg/L]
Previo al			
sistema lagunar	105,5	22000	219,5
Laguna anaerobia	72,39	7942,10	-
Laguna facultativa	24,72	550,81	51,5
Límites			
Norma 097-A	100	2000	200

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

Nota: Los resultados obtenidos se comparan con el Anexo 1 del libro VI del TULSMA del 30 de julio del 2015, AM 097-A, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

El porcentaje de remoción después del tratamiento lagunar de la DBO₅ fue de 76,57%, DQO de 76,54% y Coliformes Fecales de 97,50%.

No se necesitó realizar el diseño de la laguna de maduración ya que los valores de los parámetros de DBO₅, DQO y coliformes fecales están bajo la normativa ambiental vigente; además que esto representa costos de construcción, operación y mantenimiento.

Según (Burga, 2004) no es necesario una laguna de maduración si el sistema lagunar conformado por las lagunas anaerobia y facultativa presentan un funcionamiento óptimo de descontaminación.

4.3 Análisis de sostenibilidad

4.3.1 Análisis económico

Para la construcción de la PTAR, el volumen y el área total del proyecto, se analizó mediante los costos de los materiales, construcción y operación que se obtuvo de la cámara de la construcción de Guayaquil, y así se determinó el costo total de la misma. (Cámara de la construcción de Guayaquil, 2019-2021).

4.3.1.1 Costos de construcción de la PTAR

El GAD Parroquial de Mindo dispone de un área de terreno en el cual se llevará a cabo la implementación del proyecto, por lo cual no se consideró dentro del presupuesto.

Los costos de construcción parten desde el diseño del canal de entrada, laguna anaerobia, laguna facultativa, y se incluye también área administrativa, bodega, guardianía y parqueaderos.

Tabla 17. Costos de construcción de la PTAR

N°	Descripción	Unidad	Costo unitario referencial [USD]	Cantidad	Total, referencial [USD]
Obras Previas					
1	Limpieza y desbroce	m ²	1,02	1951,93	1990,97
2	Replanteo y nivelación con equipo topográfico.	m ²	1,68	1951,93	3279,24
3	Excavación y retiro	m ³	5,78	1261,11	7289,22
4	Malla Electrosoldada	m ²	3,37	1951,93	6578
Estructuras					

5	Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm ²	kg	1,54	315	485,1
6	Encofrado/desencofrado metálico alquilado tipo RENTECO	m ²	6,68	22	146,96
Canalización					
7	Tubería PVC 200mm	m	11,66	521,91	6085,47
8	Pozo de revisión HS, INC. Tapa HF	m	184,40	2	368,8
9	Excavación de zanjas a máquina en tierra H=0-2.75m	m ³	3,56	7	24,92
Geotextil					
10	Geomembrana de polietileno 0,5mm	m ²	5,91	1871,93	11063,11
Construcción de oficinas administrativas					
11	Oficina administrativa, caseta de guardianía, portón de entrada, 2 parqueadero y bodega.	m ²	250,00	80	20000
12	Limpieza final de la Obra	m ²	1,8	1951,93	3513,47
TOTAL				60825,26 USD	

Elaborado por: Castillo & Ullauri, 2022.

4.3.1.2 Costos de operación y mantenimiento de la PTAR

Para llevar a cabo la operación y mantenimiento de la PTAR se necesitará únicamente 1 operador y 1 técnico debido a que el proceso de tratamiento lagunar se efectúa en su mayoría de manera natural. (Burga J. S., 2004).

Tabla 18. Costos de operación y mantenimiento de la PTAR

Cantidad	Descripción	Costo total [USD/mes]
1	Operador	425
1	Operador – técnico	750
Costo total		1175

Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

4.3.2 Análisis técnico

El área total del sistema de lagunaje junto con las áreas administrativas y espacios verdes es de 9582, 2688 m², el espacio está disponible y es otorgado por el GAD parroquial de Mindo.

El sistema lagunar diseñado mostró una eficiencia óptima en la remoción de DBO₅, DQO y coliformes fecales, los cuales se mostraron en la tabla 4.2.6.

Figura 10. Área de implementación de la PTAR



Elaborado por: Castillo y Ullauri, 2022.

4.3.3 Análisis social

Con la finalidad de constatar la problemática se realizó una socialización con el presidente del GAD Parroquial de Mindo Sr. Fidel Yaguachi el cual indicó la problemática que tienen en el río Canchupi, en el cual el sistema de alcantarillado de los barrios Central, El Progreso, Buganvillas, Los Guayabales desembocan sus aguas residuales contaminándolo sin tener ningún tipo de tratamiento, es decir que no cuenta con una planta de tratamiento.

Es por ello que el presidente en una socialización autorizó el desarrollo del tema de tesis porque es una solución a la problemática que afecta al turismo de la zona, flora, fauna y salud de los habitantes de la Parroquia, principalmente a las zonas aledañas al río Canchupi.

De igual manera se realizó un acercamiento con la población de los barrios mencionados, los cuales mostraron su preocupación de la problemática actual y su apoyo hacia al tema de investigación que se realizó, ya que es una solución para descontaminar el río Canchupi y que no afecte sus actividades económicas.

Por último, se presentará el trabajo de investigación al GAD parroquial de Mindo para que sea analizada y se determine una posiblemente ejecución del proyecto.

4.4 Discusión

El agua residual que desemboca en el río Canchupi no cuenta con ningún tipo de tratamiento previo, por lo que contamina este cuerpo de agua y lleva a una calidad negativa de este. A partir de los resultados obtenidos de las características fisicoquímicos y microbiológicas del agua residual se determinó la presencia de agentes contaminantes, de los cuales la DBO₅, DQO y coliformes fecales incumplían la normativa ambiental vigente.

Mediante la relación DBO₅ (105,5 mg/L) / DQO (219,5 mg/L) que da igual a 0,48 (índice de biodegradabilidad: moderadamente degradable), se determinó que realizar lagunas de estabilización es una opción factible para tratar dichas aguas residuales, por lo que puede reducir las concentraciones de DBO₅, DQO y Coliformes Fecales a valores que estén dentro de los límites máximos permisibles, tal y como establece el Anexo 1 del libro VI del TULSMA del 30 de Julio del 2015, AM 097-A, Tabla 9: Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Autores como (Cueva, 2021), (Tapia, 2020) y (Moya, 2022) determinaron la misma metodología a partir de analizar el índice de biodegradabilidad.

Según los resultados de los cálculos obtenidos del sistema lagunar, existe una eficiencia de remoción de las concentraciones de DBO₅, DQO y Coliformes Fecales, las cuales se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, por lo que la implementación del sistema lagunar es óptimo para llevarse a cabo en la parroquia de Mindo, y según Cortés et al. (2017) plantea que la implementación de lagunas de estabilización es factible por poseer una eficaz

remoción de materia orgánica (DBO₅), la eliminación de coliformes fecales, costos bajos para su construcción, operación y mantenimiento y capacidad de reducir la carga contaminante. Según el autor Cortés et al. (2017) en climas con temperaturas de 20°C a 25°C existe una remoción significativa de materia orgánica, en el caso del presente estudio Mindo presenta una temperatura ambiente promedio de 22°C y la remoción que se obtuvo después del sistema lagunar fue de 76,57%. Por otra parte, los autores (Cisneros, 2012) mencionan que en las lagunas de estabilización se remueve de un 75% a 80% de la DBO₅.

El sistema lagunar presente en este trabajo experimental está compuesto por una laguna, anaerobia y una facultativa, y no fue necesario el cálculo de una laguna de maduración por su eficiencia de remoción, según el trabajo presentado por (Burga, 2004) no es necesario una laguna de maduración si el sistema lagunar conformado por las lagunas anaerobia y facultativa presentan un funcionamiento óptimo de descontaminación.

El presente sistema de tratamiento lagunar para la parroquia de Mindo está propuesto para un tiempo de vida de 20 años y una población futura de 4980 habitantes.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A partir de la toma de muestras del punto de descarga del sistema de alcantarillado mixto y análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua residual, se diseñó la planta de tratamiento de los barrios: Central, El Progreso, Buganvillas, Los Guayabales, de la parroquia de Mindo del cantón San Miguel de Los Bancos en la provincia de Pichincha en base a una proyección de diseño de 20 años hasta el año 2042 que corresponde a una población futura de 4980 habitantes y un caudal de diseño de 675,17 m³/día la cual cumple con los límites máximos permisibles según indica la normativa ambiental vigente.

Se evaluaron los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual, se determinó también el índice de biodegradabilidad mediante la relación de la DBO₅/DQO con un valor de 0,48, se dedujo que el tratamiento adecuado son las lagunas de estabilización, ya que el agua presentó materia orgánica moderadamente degradable.

Para la planta de tratamiento de agua residual se utilizaron las siguientes unidades: canal de entrada, criba, desarenador, laguna anaerobia y laguna facultativa, y se realizó su dimensionamiento en 2D y 3D a través del programa AutoCAD.

De acuerdo con el análisis económico se determinó que la construcción de esta planta de tratamiento de agua residual tiene un costo de 60825,26 USD y la operación y mantenimiento representaría un valor de 1175 USD/mes. Técnicamente se requiere de un área aproximada de 9582,27 m² el espacio está disponible y es otorgado por el GAD parroquial de Mindo. Se realizó una socialización con el presidente del GAD Parroquial de Mindo Sr. Fidel Yaguachi y la población de los barrios mencionados, los cuales mostraron su preocupación de la problemática

actual y su apoyo hacia al tema de investigación que se realizó, ya que es una solución para descontaminar el río Canchupi y que no afecte sus actividades económicas y turísticas.

5.2 Recomendaciones

Si se llegase a aplicar el sistema de tratamiento, es recomendable realizar un estudio topográfico y evaluación de impacto ambiental.

En caso de implementarse se sugiere contratar personal apto para la construcción, operación y mantenimiento de esta planta de tratamiento.

Comunicar a la población sobre las ventajas socioeconómicas y medioambientales de la construcción de la planta de tratamiento.

Si bien en el Ecuador el sistema de alcantarillado es combinado, se recomienda que exista una separación de aguas lluvias de las aguas residuales en el área del proyecto para evitar colapsos si se llega a aplicar una planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual se lo haría como obra civil. Aunque esto es lo recomendable, en el país no se aplica y las plantas de tratamiento de aguas residuales operan sin separar sus aguas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AGUA, C. N. (2007). *Manual de diseño de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. Jiutepec Morelos México: Instituto Mexicano de Tecnología del agua.
- Alvarado, E. (Enero-Junio de 2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del. *Quivera, 14*, 80.
- Alvarado, E. (2017). *Manual de medición de caudales*. Guatemala: Paris Catilla.
- Barnuevo Poémape, E. (2018). *Nuevo diseño del desarenador desaguadero del canal Taymi en el Distrito de Pucalá, Provincia de Chiclayo, región Lambayeque*. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Obtenido de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1479/1/TL_BarnuevoPoemapeEliza.pdf
- Burga, J. A. (19 de Abril de 2004). *Repositorio Institucional Pirhua*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI_119.pdf
- Burga, J. S. (19 de abril de 2004). *REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA*. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI_119.pdf
- Carolina Guerrero, O. H. (Noviembre de 2021). *dspace.ups.edu.ec*. Obtenido de DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y LA: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21289/1/UPS%20-%20TTS545.pdf>
- Carrera, D. J. (19-20 de Julio de 2017). *TRITON-CYTED*. Obtenido de http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2017/04/Curso-EBN_Introducci%C3%B3n.pdf
- CEPAL. (Diciembre de 1990). *Repositorio Cepal*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/9212/S9000506_es.pdf

- Cisneros, D. S. (Marzo de 2012). *TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN LAGUNAS DE OXIDACIÓN PARA UNA POBLACIÓN DE 10000 HABITANTES*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5039/1/T203.pdf>
- COA. (2018). *CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Conagua. (1994). *Manual de Agua Potable, alcantarillado y saneamiento*. Mexico: IMTA.
- Córdova Sánchez, C. V. (2018). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES EN LA PARROQUIA EL ROSARIO, CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8645/1/96T00447.pdf>
- Cortés Martínez, F., Treviño Cansino, A., & Tomasini Ortiz, A. C. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*. Durango, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Cueva, D. e. (Octubre de 2021). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES . DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- CUSTODE, E. (2016). *PROPUESTA DE GESTIÓN DEL RÍO MINDO ORIENTADO AL USO RECREATIVO DEL AGUA, UTILIZANDO LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Obtenido de file:///C:/Users/yerli/Downloads/CD-6783.pdf

Cuvi, K. (Septiembre de 2017). Los sólidos (materiales orgánicos e inorgánicos) contenidos en el efluente consumen el oxígeno disuelto en el agua al oxidarse, por lo que se depositan en el fondo del cuerpo receptor, donde cambian el hábitat natural y afectan la biota acuática. Quito.

Ecuador, C. d. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito.

ECUADOR, C. D. (2008). *LEXIS*. Obtenido de LEXIS:
https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Eddy, M. &. (1991). *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal Reuse*. USA: McGraw-hill.

ESPIGARES GARCÍA, M. y. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada: Granada: Universidad (1985).

Facundo Cortés, A. T. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*. México: IMTA.

Fajardo. (2005). *Plan de moritores para la planta de tratamiento de aguas residuales en el sur de Aguachapán El Salvador*. El Salvador: mesoamerica.

Fajardo, D. (Septiembre de 2005). *Unión Mundial para la Naturaleza* . Obtenido de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2006-092.pdf>

Fidel, Y. (2021). Sistema de alcantarillado [Grabado por P. G. Mindo]. Mindo, Pichincha, Ecuador.

Guayaquil, C. d. (2019-2021). *Cámara de la construcción de Guayaquil*. Obtenido de <http://www.cconstruccion.net/precios.html>

INCyTU. (2019). Tratamiento de aguas residuales. *INCyTU No. 028*, 1,4.

INGENIEROS, E. (Enero de 2012). *FODM Fondo para el logro de los ODM*. Obtenido de <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>

Metcalf & Eddy. (2000). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (Vol. I). (A. García Brage, Ed.) Madrid, España: McGraw-Hill.

Mindo, G. P. (Agosto de 2012). *Gobierno Autonomo Decentralizado Parroquia de Mindo*. Obtenido de http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/PDOT%20MINDO%202012.pdf

Mindo, G. P. (Agosto de 2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD Parroquia de Mindo*. Obtenido de http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/PDOT%20MINDO%202012.pdf

Mora, J. C. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua . *Tecnología en marcha* , 35-36.

Moya, A. M. (febrero de 2022). *dspace*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21908/1/UPS%20-%20TTS614.pdf>

Navarro, M. (2007). *DETERMINACIÓN DE ESCHERICHIA COLI Y COLIFORMES TOTALES*. Colombia: IDEAM.

Oakley. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras*. USA: Manual de Diseño, Construcción, Operación y mantenimiento.

- Orbe, A. (2013). *DISEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y AGUAS*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6085/T-PUCE-6322.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Paz, J. (Junio de 2010). *Aguamarket*. Obtenido de <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2082%20&%20termino=S%F3lidos>
- Pozo, H. d. (2015). *Acuerdo N°. 061*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155124.pdf>
- Ramalho, R. (1996). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Quebec, Canada: Reverté.
- RAS. (2000). *REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO*. Bogotá: Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Obtenido de https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- RAS, R. (noviembre de 2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Obtenido de <https://camacolvalle.org.co/wp-content/uploads/2016/07/Anexo-T%C3%A9cnico-RAS-2000-T%C3%ADtulo-D.pdf>
- Rodríguez Ruíz, P. (2008). *HIDRÁULICA de CANALES*. México: HIDRÁULICA II. Obtenido de https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf
- Rolim, M. (2000). *Sistemas de lagunas de estabilización*. Colombia: McGraw-Hill.
- Ronquillo, I. G. (2019). *Gobierno Autonomo Decentralizado de Pichincha*. Obtenido de PROAMBIENTE:

http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/Estudio%20Vulnerabilidad_SMB_2_GR.pdf

Santos, D. d. (1992). *MÉTODOS NORMALIZADOS Para el análisis de aguas potables y residuales*. Madrid España : Díaz de Santos S.A .

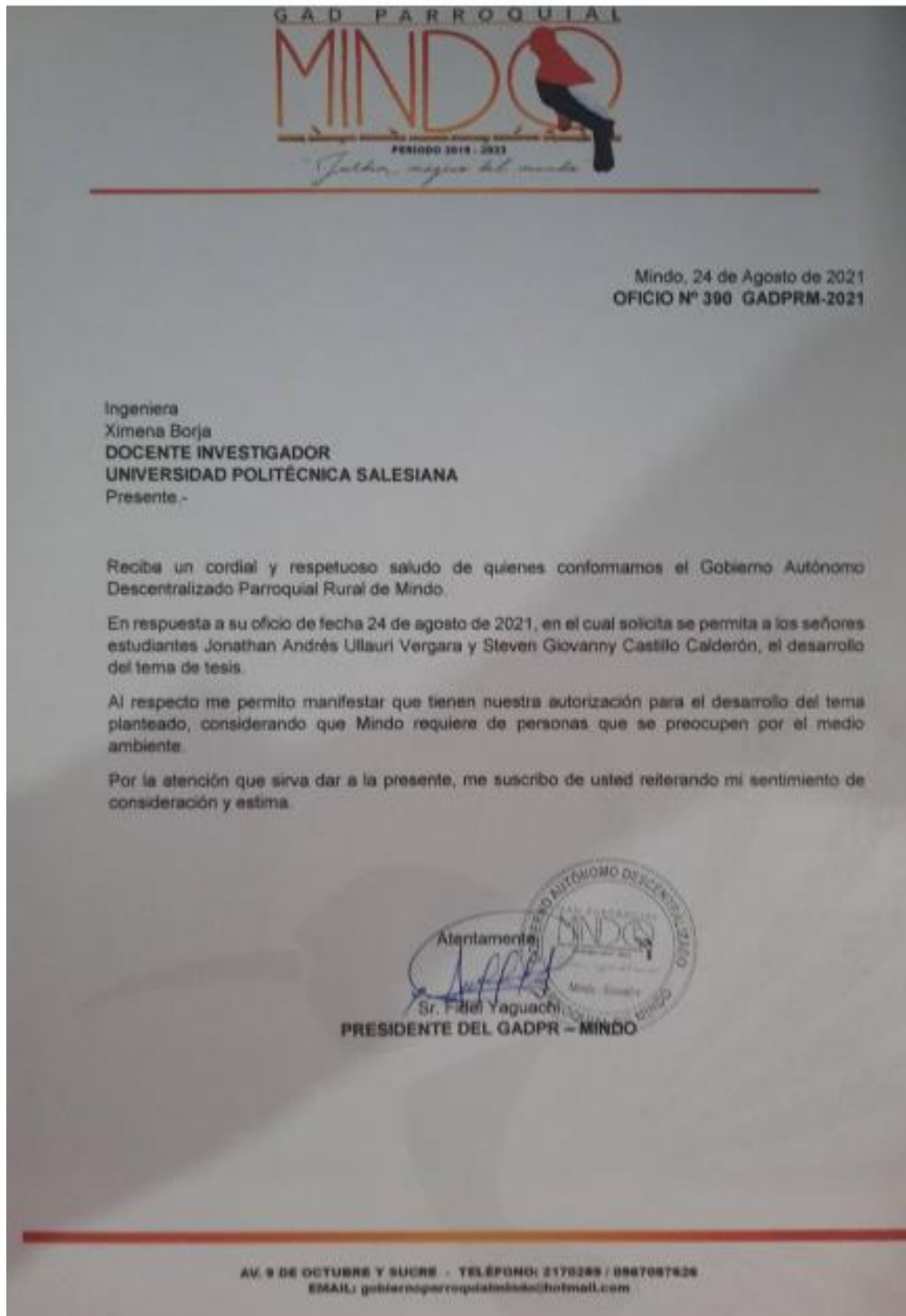
Tapia, G. B. (septiembre de 2020). *dspace*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19174/1/UPS%20-%20TTS114.pdf>

TULSMA. (2015). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

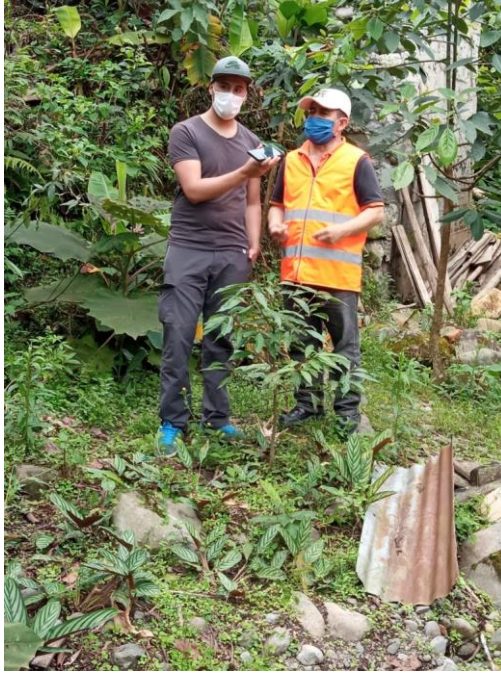
Valencia, A. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis. *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis*. Riobamba, Ecuador.

Yaguachi, L. F. (2020). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRIOTORIAL 2020-2024*. Mindo: © Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Mindo 2019 - 2023.

7. ANEXOS



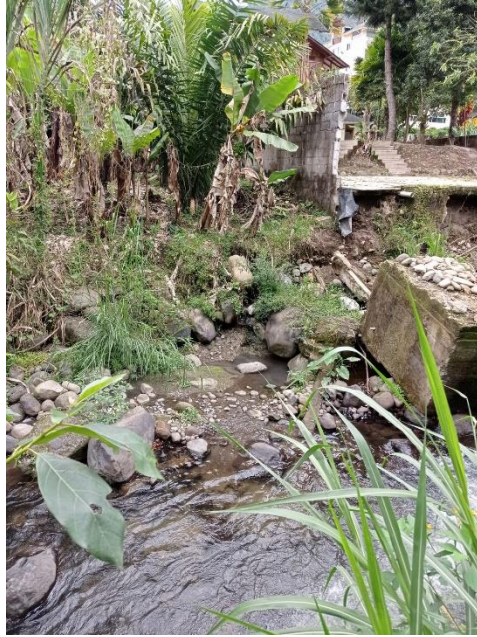
Anexo 1. Autorización por parte del GAD Parroquial de Mindo para el desarrollo del tema



Anexo 2. Explicación de la problemática existente en el Río Canchupi por parte del presidente del GAD Parroquial de Mindo Ing. Fidel Yaguachi



Anexo 3. Punto de descarga de agua residual desde el alcantarillado hacia el Río Canchupi



Anexo 4. Río Canchupi con poca descarga desde el alcantarillado



Anexo 5. Río Canchupi con alta descarga desde el alcantarillado (horas pico)



Anexo 6. Toma de muestra del agua residual



Anexo 7. Medición del caudal



Anexo 8. Medición de parámetros In Situ (Oxígeno disuelto, pH, temperatura y conductividad)



Anexo 9. Uso del turbidímetro



Anexo 10. Análisis de sólidos sedimentables



Anexo 11. Análisis de sólidos suspendidos con el equipo de filtración

DARLO
PREPARAR EL PLANO
DIGITAL E IMPRESO
DEL AREA EN ESTUDIO.
Y ENTREGAR A LOS
INTERESADOS.
0.30/11/21

Obras Públicas.
[Firma]
22-11-2021

Mindo, 19 de Noviembre de 2021

Abogado
Marco Calle Ávila
ALCALDE DEL CANTÓN SAN MIGUEL DE LOS BANCOS
Presente.-

Reciba un cordial y respetuoso saludo, y nuestro deseo de éxitos en sus funciones.

Antecedentes.- somos estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana, y nos encontramos realizando nuestro proyecto de Tesis "Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para los barrios Central, El Progreso, Bugambillas, Los Guayabales de la Parroquia de Mindo, del Cantón San Miguel de los bancos en la provincia de pichincha".

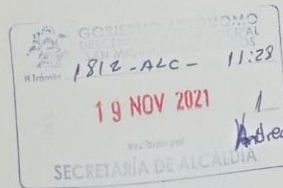
Solicitud.- en tal virtud solicitamos a usted se autorice a quien corresponda nos ayuden con una copia del mapa de la red de alcantarillado, existente en la parroquia de Mindo, de ser posible digital e impreso, documento que será utilizado únicamente con fines académicos.

Por la atención que sirva dar a la presente, nos suscribimos de usted reiterando nuestro sentimiento de consideración y estima.

NOMBRES	Nº. CÉDLA	FIRMA
Steven Castillo	1726692813	<i>[Firma]</i>
Jonathan Ullauri	1723266825	<i>[Firma]</i>

stivo873@gmail.com
jullauri@est.ops.edu.ec

RECIBIDO
2-12-2021
[Firma]



G.A.D.N SAN MIGUEL DE LOS BANCOS
DIRECCIÓN OBRAS PÚBLICAS
TRAMITE 827-009
FECHA 29/11/2021 HORA 5:04
RECIBIDO POR: *[Firma]*

Anexo 12. Solicitud aprobada sobre petición del mapa del alcantarillado de la Parroquia de Mindo por parte del alcalde del Cantón San Miguel De Los Bancos

**INFORME DE RESULTADOS
LABORATORIO QUÍMICO AMBIENTAL**

ANÁLISIS: Físicoquímico de Muestras de Agua
MC22.1
Revisión: 11

CIBU: NI R: 1 - N

CLIENTE		TIPO DE MUESTRA:	Agua residual
EMPRESA:	Sr. Javier Alejandro	CÓDIGO DE MUESTREO:	1 - A
DIRECCIÓN:	la Magdalena	CUERPO RECEPTOR:	Acartarillado
TELÉFONO:	0987161321	LOCALIZACIÓN DEL MUESTREO:	Acartarillado - "Barrio el Progreso"
SOLICITADO POR:	Sr. Javier Alejandro	PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS:	NA

CONDICIONES AMBIENTALES	TEM AMB (°C):	22.0
	HUMEDAD (%):	70
COORDENADAS EN EL PUNTO DE MUESTREO		-0.05255
		-78.776717
TÉCNICO RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA		Cliente
TIPO DE TOMA DE MUESTRA (Simple/Compuesta)		compuesta
FECHA DE TOMA DE MUESTRA		17/11/2021 - 19/11/2021
HORA DE TOMA DE MUESTRA		06:30 am - 20:35pm
FECHA DE INGRESO DE MUESTRA		22/11/2021
HORA DE INGRESO		8:30
FECHA DE ANÁLISIS		22/11/2021 - 02/12/2021
FECHA DE REALIZACIÓN DE INFORME		03/12/2021
ANALISTA RESPONSABLE DE ELABORACIÓN DE INFORME		Paulina Llave

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR MÁX. PERMISIBLE**	MÉTODO	±U (k=2)	Especial
					1 - N
Coliformes Fecales	Colonias/100 mL	2000	PEE47/ SM-Ed-23-2017, 9222 D / Filtración por Membrana	9%	25 X 10 ⁴ s
Coliformes Totales	Colonias/100 mL	NA	PEE49/SM-Ed-23-2017, 9222 B / Filtración por Membrana	8%	52 X 10 ⁴ s
Demanda Química de oxígeno	mg/L	200	PEE03/SM-Ed-23, 5220D / Espectrofotometría UV-Vis	6%	224
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	PEE11/ SM-Ed-23-2017, 5210 D. / Oxímetro	16%	102
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	6-9	PEE02/ SM-Ed-23-2017, 4500 H+B / Electrometría	1,25%	6,82
Nitritos	mg/L	NA	PEE55/ HACH 8507	15%	0,215
Nitratos	mg/L	NA	PEE56/HACH 8171	11,0%	22,3
Fosforo Total	mg/L	10,0	PEE22/ SM-ED-22, 4500P E; HACH 8190	8%	0,58

** según Anexo 1 del libro VI del TUSMA del 30 de Julio del 2015, AM 097-A, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

LUGAR DE REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS:

- Los parámetros Demanda química de oxígeno, Demanda bioquímica de Oxígeno 5 días, Potencial de hidrógeno, Nitritos, Nitratos y Fosforo total fueron realizados en el Laboratorio Matriz Quito de CHÁVEZSOLUTIONS

- Los parámetros Coliformes Fecales y totales fueron realizados en la Unidad Técnica Coca de CHÁVEZSOLUTIONS



Firmado electrónicamente por:
LUIS FERNANDO SOTO MORENO

Dr. Luis Soto
RESPONSABLE TÉCNICO

NOTA: C= Cumple con la norma, NC=No cumple con la norma, NI= No Indicado por el cliente, NA=No aplica

SM= Standard Methods; EPA=Environmental Protection Agency

PEE= Procedimiento Específico de Ensayo

U= Incertidumbre del Método

- El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Prohibida la reproducción parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio
- CHÁVEZSOLUTIONS libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

INFORME DE RESULTADOS
LABORATORIO QUÍMICO AMBIENTAL

ANÁLISIS: Fisiológico de Muestras de Agua
MC22.1
Revisión: 12

CIU: NI R: 1 - N

CLIENTE		TIPO DE MUESTRA:	Agua residual
EMPRESA:	Sr. Jonathan Ulauri	CÓDIGO DE MUESTREO:	2 - A
DIRECCIÓN:	la Magdalena	CUERPO RECEPTOR:	Alcantarilla db
TELÉFONO:	0987161321	LOCALIZACIÓN DEL MUESTREO:	Mindo - Pichincha
SOLICITADO POR:	Sr. Jonathan Ulauri	PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRAS:	NA

CONDICIONES AMBIENTALES	TEM AMBI (°C):	22.0
	HUMEDAD (%):	70
COORDENADAS EN EL PUNTO DE MUESTREO		-0.05255
		-78.776717
TÉCNICO RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA		Cliente
TIPO DE TOMA DE MUESTRA (Simple/Compuesta)		compuesta
FECHA DE TOMA DE MUESTRA		11/12/2021 - 13/12/2021
HORA DE TOMA DE MUESTRA		06:30 a.m - 20:35pm
FECHA DE INGRESO DE MUESTRA		14/12/2021
HORA DE INGRESO		8:30
FECHA DE ANÁLISIS		14/12/2021 - 22/12/2021
FECHA DE REALIZACIÓN DE INFORME		23/12/2021
ANALISTA RESPONSABLE DE ELABORACIÓN DE INFORME		Paulina Llave

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR MÁX. PERMISIBLE**	MÉTODO	±U (n=2)	Especial
					1 - N
Coliformes Fecales	Colonias/100 mL	2000	PEE4 / SM-Ed-23-2017, 9222 D / Filtración por Membrana	9%	19 X 10 ⁶
Coliformes Totales	Colonias/100 mL	NA	PEE4 / SM-Ed-23-2017, 9222 B / Filtración por Membrana	8%	44 X 10 ³
Demanda Química de oxígeno	mg/L	200	PEE03/SM-Ed-23, 5220 D / Espectrofotometría UV-Vis	6%	215
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	PEE1 / SM-Ed-23-2017, 5210 D / Oxímetro	16%	109
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	6-9	PEE02 / SM-Ed-23-2017, 4500 H+B / Electrometría	1,25%	7,01
Nitrógeno Amoniacoal	mg/L	30	PEE56 / HACH 4500 - NH3	15%	11,0
Fosforo Total	mg/L	10,0	PEE22 / SM-ED-22, 4500P E; HACH 8190	8%	1,8

** según Anexo 1 del libro VI del TULSMA del 30 de Julio del 2015, AM 097-A, Tabla 9: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

LUGAR DE REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS:

- Los parámetros Demanda química de oxígeno, Demanda bioquímica de Oxígeno 5 días, Potencial de hidrógeno, Nitritos, Nitratos y Fosforo total fueron realizados en el Laboratorio Matriz Quito de CHAVEZSOLUTIONS
- Los parámetros Coliformes Fecales y totales fueron realizados en la Unidad Técnica Coca de CHAVEZSOLUTIONS

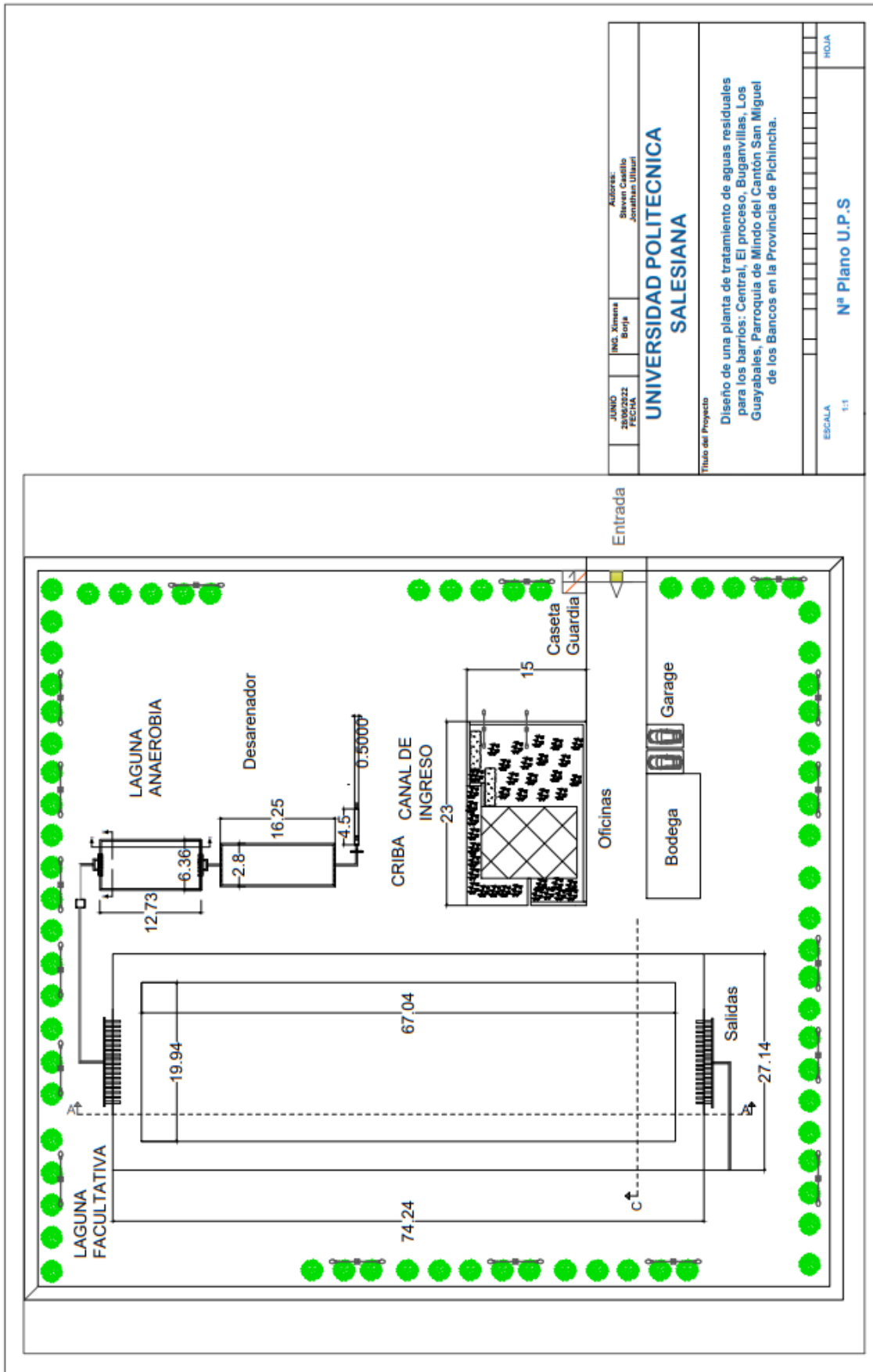


Elaborado digitalmente por:
LUIS FERNANDO SOTO MORENO

Dr. Luis Soto
RESPONSABLE TÉCNICO

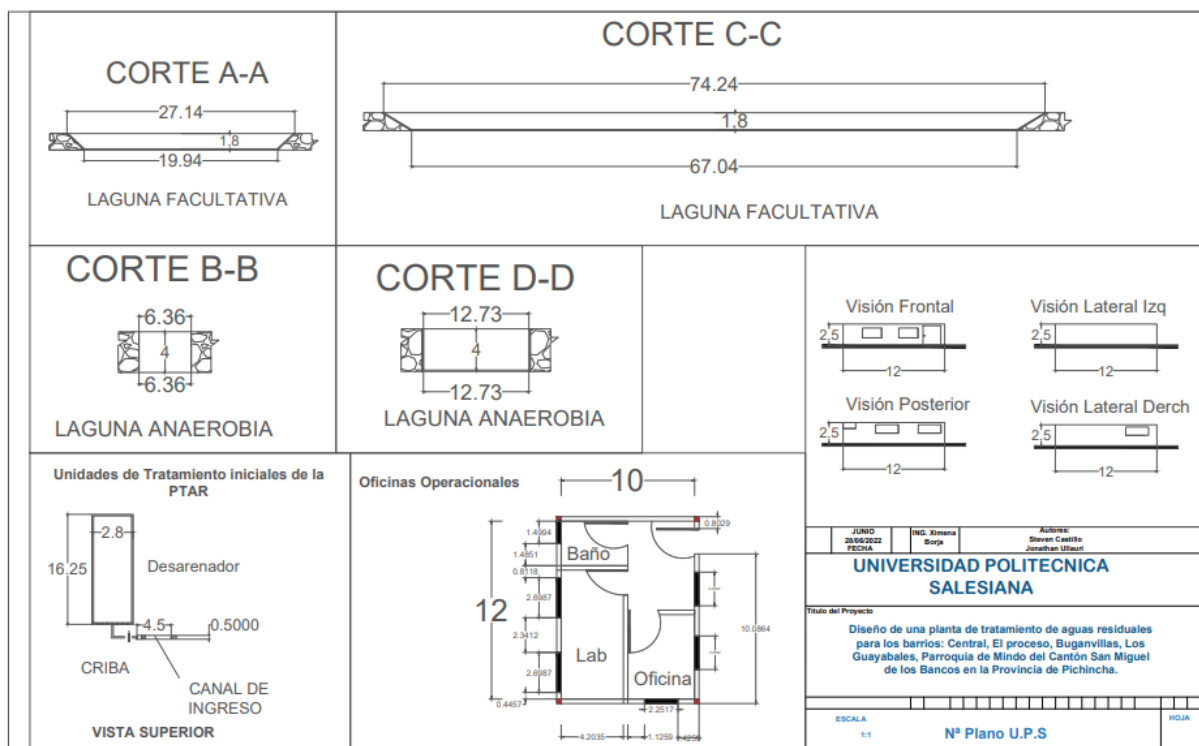
NOTA: C= Cumple con la norma, NC=No cumple con la norma, NI= No Indicado por el cliente, NA=No aplica
SM= Standard Methods; EPA=Environmental Protection Agency
PEE= Procedimiento Específico de Ensayo U= Incertidumbre del Método

- El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo
- Prohibida la reproducción parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio
- CHAVEZSOLUTIONS libera su responsabilidad por la información proporcionada por el cliente y el uso que se le dará a los resultados
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

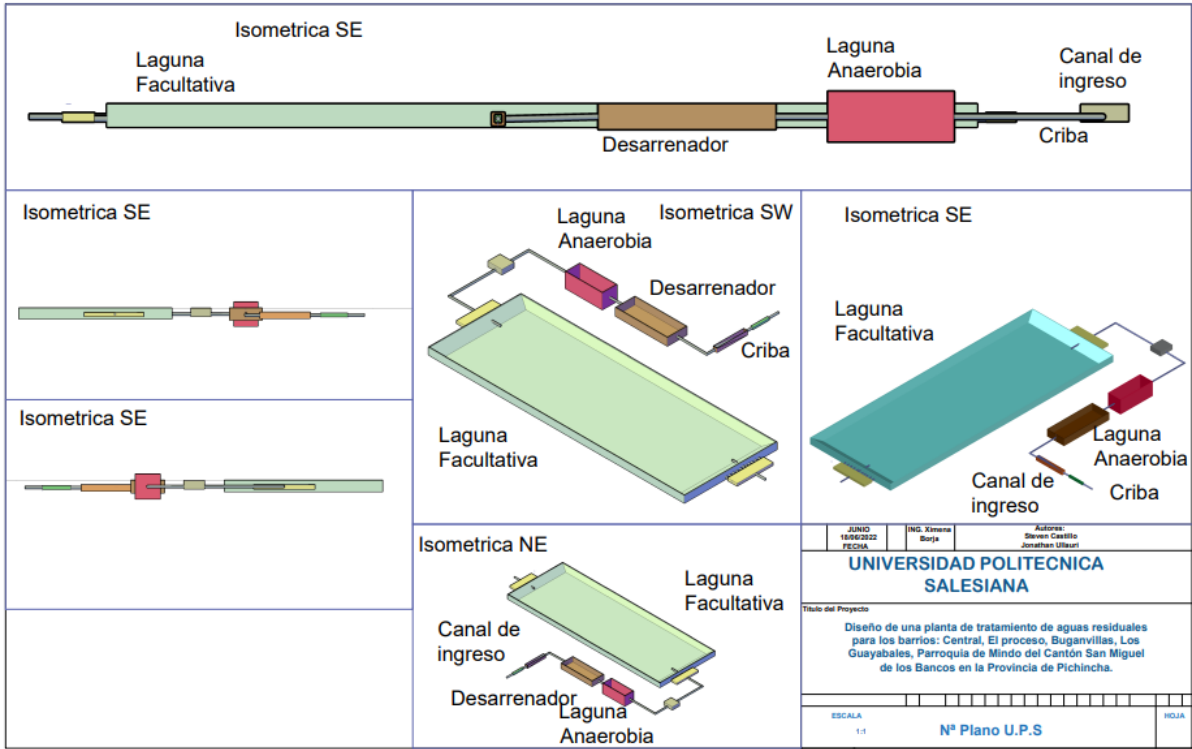


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	ING. Ximena Borja	Alumnos: Shiver Castillo, Jonathan Ulmarí
Título del Proyecto Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para los barrios: Central, El proceso, Buganvillas, Los Guayabales, Parroquia de Mindo del Cantón San Miguel de los Bancos en la Provincia de Pichincha.		
ESCALA 1:1	HOJA	

Anexo 15. Dimensionamiento de la planta de tratamiento en AutoCAD



Anexo 16. Vistas y cortes de la planta de tratamiento en AutoCAD



Anexo 17. Vistas de la planta de tratamiento en 3D en AutoCAD