



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA,
PROVINCIA DE COTOPAXI.”**

AUTOR: David Israel Meneses Pérez

TUTOR: Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla

AMBATO - ECUADOR

Marzo – 2023

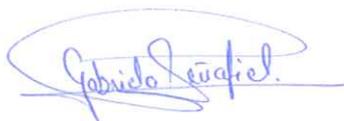
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI”**, elaborado por el Sr. **David Israel Meneses Pérez**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0504235656, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



Ing. Mg. Lourdes Gabriela Peñañiel Valla

TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **David Israel Meneses Pérez**, con C.I. 0504235656, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental, con el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”**, así como también tablas, análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



David Israel Meneses Pérez

C.I. 0504235656

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



David Israel Meneses Pérez

C.I. 0504235656

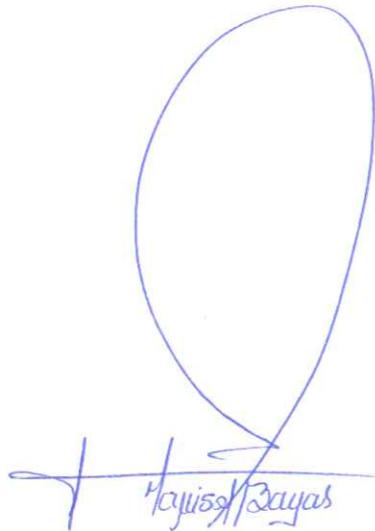
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante David Israel Meneses Pérez. De la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”**

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mis padres, Patricia y Leonardo, por apoyarme y acompañarme en cada paso de mi vida en la búsqueda de ser una mejor persona y gran profesional, y con la bendición de Dios me han guiado e inculcado buenos principios.

A mis hermanos, Santiago, Alexander, Alejandro y Anthony quienes me han brindado su apoyo incondicional y me han enseñado a siempre luchar por mis sueños.

A mi esposa, Katherine, suegros, Patricia, Antonio, cuñados, Joel y Francisco por brindarme de sus palabras y consejos para no rendirme y seguir en este camino.

A mi gran amigo, Farley, quien ha estado en los momentos más difíciles, buenos y malos, por su paciencia y colaboración incondicional, quien me alentado a seguir adelante junto con sus consejos cuando más falta me hacía.

A Ing. Guanoluisa, Lic. Maigua y Tnlga. Mise que se han convertido en un pilar muy importante para superarme y no rendirme.

A todas las personas que se han convertido en parte de mi familia, y quienes ya no están junto a mí y se han convertido en una de mis motivaciones para seguir adelante.

Todo se lo debo a cada uno de ustedes por haberme brindado todo su apoyo.

DAVID MENESES PÉREZ

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme culminar una etapa más de mi vida y por guiar cada uno de mis pasos.

A mi familia por siempre darme una palabra de aliento para lograr cumplir todos mis objetivos y metas.

A Kathy, por todo su apoyo y por siempre brindarme su ayuda para cumplir con este sueño y quien me acompañado en cada paso.

A mis compañeros y grandes amigos que esta etapa universitaria me ha brindado la posibilidad de conocer, quienes con su apoyo y amistad hicieron de esta etapa una de las mejores experiencias de mi vida.

A mi tutora Ing. Gabriela Peñafiel quien no dudó en brindarme su ayuda y compartir su conocimiento para que pueda culminar este trabajo con éxito.

Finalmente, a todos los docentes y personal que componen la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, quienes se encargaron de mi formación académica durante todos estos años, para formarme como un profesional competente que busque mejorar y ayudar a los demás, mi más eterna gratitud.

DAVID MENESES PÉREZ

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	3
1.1.3.1 Aguas residuales	3
1.1.3.2 Tipos de aguas residuales	3
1.1.3.2.1 Aguas residuales domésticas.....	3
1.1.3.2.2 Aguas residuales municipales	4
1.1.3.2.3 Aguas residuales agropecuarias o agroindustriales.....	4
1.1.3.2.4 Aguas residuales Industriales.....	5
1.1.3.2.5 Aguas residual pluviales	5
1.1.3.3 Características de las aguas Residuales	6
1.1.3.4 Plantas de tratamiento de agua residual.....	7
1.1.3.5 Tratamiento para aguas residuales.....	8

1.1.3.5.1 Pretratamiento	9
1.1.3.5.2 Tratamiento primario	9
1.1.3.5.3 Tratamiento secundario.....	9
1.1.3.5.4 Tratamiento terciario.....	9
1.1.3.6 Reactor UASB	9
1.1.3.7 Componentes para el tratamiento de agua residual	10
1.1.3.7.1 Cribado.....	10
1.1.3.7.2 Desarenador.....	10
1.1.3.7.3 Tanque Séptico.....	10
1.1.3.7.4 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)	11
1.1.3.7.5 Lecho de secado de Lodos	11
1.1.3.7.6 Desinfección de agua tratada	11
1.1.3.7.7 Porcentajes de remoción teórica por procesos	11
1.1.3.8 Parámetros de las aguas residuales	12
1.1.3.8.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).....	12
1.1.3.8.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)	12
1.1.3.8.3 Potencial Hidrógeno (pH).....	12
1.1.3.8.4 Nitrógeno (N).....	13
1.1.3.8.5 Fósforo (P)	13
1.1.3.8.6 Sólidos Suspendidos (SS)	14
1.1.3.9 Límites de descarga de agua residual tratada.....	14
1.1.3.10 Criterios de calidad del agua	18
1.1.4 Hipótesis.....	22
1.1.4.1 Hipótesis de trabajo.....	22
1.1.4.2 Hipótesis nula.....	22
1.2 Objetivos	22
1.2.1 Objetivo General	22

1.2.2 Objetivos Específicos.....	22
CAPÍTULO II	23
2.1 Materiales y Equipos.....	23
2.2 Metodología	24
FASE 1: Levantamiento de información.....	24
FASE 2: Investigación de campo.....	24
FASE 3: Investigación de laboratorio	24
FASE 4: Análisis y verificación de funcionamiento.....	24
2.2.1 Proceso de Recolección de Datos	25
2.2.1.1 Fase 1 Levantamiento de información	25
2.2.1.2 FASE 2: Investigación de campo.....	26
2.2.1.2.1 Medición de caudales.....	26
2.2.1.3 FASE 3: Investigación de laboratorio	35
2.2.1.4 FASE 4: Análisis y verificación de funcionamiento PTAR.....	36
2.2.1.4.1. Pozo de entrada	37
2.2.1.4.2. Tanque de equilibrio	38
2.2.1.4.3 Reactor de bafles.....	39
2.2.1.4.4 Filtro Facultativo (Fitopedológico)	40
CAPÍTULO III.....	42
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	42
3.1.1 Análisis de muestras de agua residual.....	42
3.1.2 Análisis comparativo de resultados con el TULSMA 2015.....	43
3.2 Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia de Mulaló.....	44
3.2.1 Diagnóstico Técnico.....	44
3.2.2 Partes del Sistema de Tratamiento de la PTAR actual.....	44
3.2.3 Dimensiones actuales de las obras hidráulicas actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Mulaló	45

3.2.3.1 Sedimentador.....	45
3.2.3.2 Tanque de Equilibrio.....	47
3.2.3.3 Reactores de Baffles	48
3.2.3.4 Filtro Facultativo Fitopedológico.....	50
3.2.4. Diagnóstico de funcionamiento de la PTAR.....	51
3.2.5 Verificación de hipótesis.....	52
CAPÍTULO VI.....	53
4.1. Diseño de una nueva planta de tratamiento.....	54
4.2. Determinación de la población futura	54
4.2.1. Población futura (hab).....	57
4.2.2. Caudal medio diario futuro (lt/seg)	57
4.2.3. Caudal medio diario sanitario futuro (lt/seg)	57
4.2.4. Factor de Mayoración	58
4.2.5. Caudal máximo horario sanitario futuro (lt/seg)	58
4.2.6 Caudal conexiones erradas y caudal de infiltración (lt/seg).....	58
4.2.7. Caudal de diseño (lt/seg).....	59
4.3. Tratamiento Preliminar	59
4.3.1. Diseño canal de llegada propuesto.....	59
4.3.1.1. Cálculo del tirante hidráulico del canal (m).....	60
4.3.1.2. Cálculo del radio hidráulico (m)	60
4.3.1.3. Cálculo de la velocidad del flujo del canal (m/seg)	60
4.3.1.4. Cálculo de la altura total del canal(m)	60
4.3.2. Diseño del área de cribas propuesto.....	61
4.3.2.1. Cálculo del área del canal de entrada (m)	61
4.3.2.2. Cálculo de la velocidad de ingreso del agua (m/seg).....	62
4.3.2.3. Cálculo de la longitud de la rejilla (m).....	62
4.3.2.4. Cálculo del número de barras.....	62

4.3.2.5. Cálculo de la velocidad ascendente (m/seg)	62
4.3.2.6. Cálculo del área de las rejillas (m ²)	63
4.3.2.7. Cálculo de la velocidad del flujo a través de las rejillas (m/seg)	63
4.3.2.8. Cálculo de la pérdida hidráulica (m)	63
4.3.3. Diseño del desarenador propuesto	63
4.3.3.1. Cálculo de la velocidad cinemática del agua	64
4.3.3.2. Cálculo de la velocidad de sedimentación (m/seg)	64
4.3.3.3. Cálculo del área requerida del desarenador (m ²)	65
4.3.3.4. Cálculo de las secciones del desarenador (m)	66
4.3.3.5. Comparación de la velocidad de sedimentación y la velocidad horizontal ..	67
4.3.4. Diseño de la trampa de grasas	67
4.3.4.1. Cálculo del volumen de la trampa de grasas (m ³)	68
4.3.4.2. Cálculo del área de la trampa de grasas (m ²)	68
4.3.4.3. Cálculo de las dimensiones de la trampa de grasas (m)	68
4.3.4.4. Cálculo de la altura total de la trampa de grasas (m)	69
4.4. Tratamiento primario	69
4.4.1. Diseño del tanque séptico propuesto	69
4.4.1.1. Cálculo de la contribución de aguas residuales por contribuyente (lt/hab*día)	
.....	70
4.4.1.2. Determinación de la tasa de acumulación de lodos digeridos	70
4.4.1.3. Cálculo del volumen útil del tanque séptico (m ³)	70
4.4.1.4. Determinación de la altura del tanque séptico (m)	71
4.4.1.5. Cálculo del área superficial del tanque séptico (m ²)	71
4.4.1.6. Cálculo de las dimensiones de cada fosa del tanque séptico (m)	71
4.4.1.7. Cálculo de las dimensiones de los compartimientos de cada fosa (m)	72
4.4.1.8. Cálculo de la altura total del tanque séptico (m)	72
4.4.2. Diseño del patio de secado de lodos	73

4.4.2.1. Cálculo de la carga de sólidos que ingresan al sedimentador (kg SS/día)	73
4.4.2.2 Cálculo de la masa de sólidos que conforman los lodos (kg SS/día).....	73
4.4.2.3. Cálculo del volumen diario de lodos digeridos (lt/día).....	74
4.4.2.4. Cálculo del volumen de lodos a retirarse del tanque (m3).....	74
4.4.2.5. Cálculo del área teórica del patio de secado de lodos (m2)	74
4.4.2.6. Cálculo de las dimensiones del patio de secado de lodos (m)	74
4.4.3. Diseño del filtro anaerobio ascendente	75
4.4.3.1. Cálculo del área superficial del filtro biológico (m2).....	76
4.4.3.2. Cálculo del volumen teórico del material filtrante (m3).....	76
4.4.3.3. Cálculo del diámetro del filtro biológico (m)	77
4.4.3.4. Determinación de la altura del medio filtrante (m).....	77
4.4.3.5. Cálculo de la altura total del filtro biológico (m).....	77
4.4.3.6. Cálculo del volumen total del filtro biológico (m3).....	77
4.4.3.7. Cálculo de la carga orgánica volumétrica del material filtrante (kg de DBO/(m3*días)).....	78
4.4.3.8. Cálculo de la eficiencia esperada (%)	78
4.5. Plan de operación y mantenimiento de la PTAR	79
4.5.1. Plan de operación y mantenimiento del canal de ingreso y área de cribado....	79
4.5.2. Plan de operación y mantenimiento para el desarenador	80
4.5.3. Plan de operación y mantenimiento para la trampa de grasas	80
4.5.4. Plan de operación y mantenimiento para el tanque séptico	81
4.5.5. Plan de operación y mantenimiento para el filtro biológico	82
4.5.6. Plan de operación y mantenimiento para el patio de secado de lodos	83
4.6. CONCLUSIONES	84
4.7. RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87
ANEXO.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Aguas residuales	3
Figura 2.	Aguas residuales domésticas	4
Figura 3.	Aguas residuales municipales.....	4
Figura 4.	Aguas residuales agropecuarios.....	5
Figura 5.	Aguas residuales industriales.....	5
Figura 6.	Aguas residuales pluviales.....	6
Figura 7.	Características de aguas residuales	7
Figura 8.	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	8
Figura 9.	Esquema de tratamiento de aguas residuales	8
Figura 10.	Esquema de tratamiento de aguas residuales	10
Figura 11.	Parroquia de Mulaló.....	25
Figura 12.	Implantación de la planta de tratamiento perteneciente a la parroquia de Mulaló	26
Figura 13.	Comportamiento de caudal de descarga – Lunes.....	27
Figura 14.	Comportamiento de caudal de descarga – Martes.....	28
Figura 15.	Comportamiento de caudal de descarga – Miércoles.....	29
Figura 16.	Comportamiento de caudal de descarga – Jueves	30
Figura 17.	Comportamiento de caudal de descarga – Viernes	31
Figura 18.	Comportamiento de caudal de descarga – Sábado.....	32
Figura 19.	Comportamiento de caudal de descarga – Domingo.....	33
Figura 20.	Comportamiento de los caudales de salida	34
Figura 21.	Toma de caudales en la descarga	34
Figura 22.	Muestreo del agua residual en la descarga.....	35
Figura 23.	Identificación de las muestras	35
Figura 24.	Conservación de muestras.....	36
Figura 25.	Estructura en planta de PTAR de la parroquia Mulaló	37

Figura 26.	Proceso de tratamiento actual del PTAR	37
Figura 27.	Pozo de entrada colapsado	38
Figura 28.	Estado actual del tanque de equilibrio	38
Figura 29.	Panel de control de PTAR.....	39
Figura 30.	Estado actual de los reactores bafles.....	39
Figura 31.	Material filtrante del reactor.....	40
Figura 32.	Llave de salida de reactor.....	40
Figura 33.	Estado actual de Filtro Fitopedológico	41
Figura 34.	Descarga del agua residual a un cuerpo de agua dulce	41
Figura 35.	Diagrama de flujo de la PTAR Mulaló actual.....	44
Figura 36.	Vista en planta de la PTAR.....	45
Figura 37.	Vista en elevación de la PTAR	45
Figura 38.	Vista en planta sedimentador PTAR	46
Figura 39.	Vista en elevación sedimentador PTAR	46
Figura 40.	Vista en planta de Tanque de Equilibrio PTAR.....	47
Figura 41.	Vista en elevación Tanque de Equilibrio PTAR	48
Figura 42.	Vista en planta de Reactores de Bafles PTAR.....	49
Figura 43.	Vista en elevación de Reactores de Bafles PTAR	49
Figura 44.	Vista en planta de Filtro Fitopedológico PTAR.....	50
Figura 45.	Vista en elevación de Filtro Fitopedológico	51
Figura 46.	Tren de tratamiento propuesto para la PTAR Mulaló.....	53
Figura 47.	Línea de tendencia usando el método aritmético	55
Figura 48.	Línea de tendencia usando el método geométrico	56
Figura 49.	Línea de tendencia usando el método exponencial	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Porcentajes de unidades de tratamiento	11
Tabla 2.	Impactos originados por tipos de nitrógeno.....	13
Tabla 3.	Compuestos de fósforo	13
Tabla 4.	Límites de descarga a la red de alcantarillado público	14
Tabla 5.	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	16
Tabla 6.	Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico	18
Tabla 7.	Criterios de calidad de agua para uso agrícola	20
Tabla 8.	Materiales.....	23
Tabla 9.	Equipos de seguridad.....	23
Tabla 10.	Muestreo de caudal del primer día (lunes).....	26
Tabla 11.	Muestreo de caudal del segundo día (martes)	27
Tabla 12.	Muestreo de caudal del tercer día (miércoles)	28
Tabla 13.	Muestreo de caudal del cuarto día (jueves).....	29
Tabla 14.	Muestreo de caudal del quinto día (viernes)	30
Tabla 15.	Muestreo de caudal del sexto día (sábado)	31
Tabla 16.	Muestreo de caudal séptimo día (domingo).....	32
Tabla 17.	Resumen de la toma de Caudales de Descarga en lt/s	33
Tabla 18.	Tabla Resultados de análisis de agua de descarga PTAR	36
Tabla 19.	Tabla remoción de contaminantes por procesos	43
Tabla 20.	Tabla Relación de resultados de laboratorio y TULSMA 2015.....	43
Tabla 21.	Tabla Dimensiones Sedimentador.....	46
Tabla 22.	Tabla Dimensiones Tanque de Equilibrio.....	47
Tabla 23.	Tabla Dimensiones de Reactor de Baffles.....	48
Tabla 24.	Tabla Dimensiones Filtro Fitopedológico.....	50
Tabla 25.	Población censal de la parroquia Mulaló	54

Tabla 26.	Tasa de crecimiento poblacional usando el método aritmético	55
Tabla 27.	Tasa de crecimiento poblacional usando el método geométrico.....	55
Tabla 28.	Tasa de crecimiento poblacional usando el método geométrico.....	56
Tabla 29.	Dimensión propuesta del canal de entrada.....	61
Tabla 30.	Tabla Dimensión propuesta del área de cribas.....	63
Tabla 31.	Dimensión propuesta del desarenador	67
Tabla 32.	Dimensión propuesta del desarenador	69
Tabla 33.	Dimensión propuesta del tanque séptico.....	72
Tabla 34.	Dimensión propuesta del patio de secado de lodos.....	75
Tabla 35.	Dimensión propuesta del filtro biológico.....	78

RESUMEN

Este estudio de investigación se efectuó cuando la PTAR se encontraba fuera de funcionamiento por motivos de colapso y falta de mantenimiento. El proceso de investigación se organizó por etapas: Primero, el levantamiento de información en la que se recopilaron los datos existentes sobre la planta de tratamiento de aguas residuales sean estas: dimensiones, componentes, año de construcción y actividad socioeconómica. Segundo la investigación de campo en el cual se realizó la medición del caudal de salida de la PTAR para determinar el valor real de caudal de diseño, tomando en cuenta que este valor solo se realizaría de salida, por motivos de factores de funcionamiento y accesibilidad a un pozo principal, definiendo el caudal obtenido de la medición de la zona de descarga de la PTAR fue de 4.5 metros cúbicos por segundo. Tercero luego la investigación de laboratorio en la cual se realizó el análisis de la calidad del fluido en la que se determinó los valores de características como: pH, DBO, DQO5, detergentes, aceites y grasas, nitrógeno total entre otros que descarga el sistema de alcantarillado de la zona. Cuarto, el análisis y verificación del funcionamiento de los componentes de la planta residual. Finalmente, dando así oportunidad al rediseño de la planta de tratamiento.

Al culminar el estudio será entregado al GAD Municipal del cantón Latacunga, para beneficio de la comunidad y como aporte de la Universidad Técnica de Ambato.

Palabras clave: PTAR, Aguas Residuales, Medición de caudales, Reactor de Bafles Infraestructura, Calidad de agua.

ABSTRACT

This research study was carried out when the WWTP was out of operation due to collapse and lack of maintenance. The research process was organized by stages: First, the collection of information in which the existing data on the wastewater treatment plant were compiled, including: dimensions, components, year of construction and socioeconomic activity. Secondly, the field research in which the outflow of the WWTP was measured to determine the real value of the design flow, taking into account that this value would only be performed at the outlet, for reasons of operational factors and accessibility to a main well, defining the flow obtained from the measurement of the discharge zone of the WWTP was 4.5 cubic meters per second. Third, then the laboratory investigation in which the analysis of the quality of the fluid was carried out, determining the values of characteristics such as: pH, COD, COD5, detergents, oils and greases, total nitrogen, among others, discharged by the sewage system of the area. Fourth, the analysis and verification of the operation of the components of the wastewater treatment plant. Finally, thus giving the opportunity to redesign the treatment plant.

Upon completion of the study, it will be delivered to the GAD Municipal del Canton Latacunga, for the benefit of the community and as a contribution of the Technical University of Ambato.

Key words: WWTP, Wastewater, Flow measurement, Baffle Reactor, Infrastructure, Water quality.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Antecedentes

La ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, señala que el agua es un patrimonio nacional estratégico que está a la disposición de los sectores públicos y privados. Además, indica que lleva un adecuado control del agua que consiste en una inspección constante de las actividades humanas con la finalidad de evitar que se altere la calidad del agua. El libre acceso al líquido vital es un derecho que posee el ser humano y su conservación se basa principalmente en varios aspectos de sostenibilidad ambiental. [1]

El Ministerio del Ambiente es el encargado de regular las políticas de desarrollo ambiental en el continente ecuatoriano. Por lo tanto, manifiesta que en el transcurso del año 2017 se han ejecutado varias inspecciones de control de las descargas de aguas residuales porque se ha evidenciado una gran afectación ambiental en la flora y fauna. Además se toma en consideración que las diferentes empresas o instituciones que utilicen agua en procesos de producción y ocasionen algún tipo de impacto en el ecosistema, debe contar de manera obligatoria una licencia ambiental. [2]

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el último censo de investigación ambiental, indica que en Ecuador el tratamiento de aguas residuales ha sido ejecutado en un 63,3 % por los gobiernos autónomos descentralizados (GAD). De la misma manera según la recolección de información realizada en las regiones del Ecuador se menciona que el 74,2 % de los gobiernos autónomos descentralizados (GAD) cumplió con las directrices físicas, químicas y microbiológicas que debe mantener el agua potable para el consumo humano establecidas en la Norma 1108 del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). [3]

1.1.2 Justificación

El consumo de agua con el paso del tiempo ha ido incrementando por el crecimiento indefinido de las poblaciones en todo el mundo, por esta razón se ha logrado evidenciar que 2 millones de personas residen en lugares sufren de una grave escasez del líquido vital. Además, según estudios realizados tres de cada diez personas no pueden acceder al agua potable y acceden a fuentes naturales que no cuentan con las medidas adecuadas para su consumo. Por tanto, se ha visto la necesidad de buscar estrategias útiles para el tratamiento de agua que se basa en una serie de procesos que permite obtener agua completamente desinfectada. [4]

El uso del agua es un derecho para todo ser humano, por tanto, debe contar con los parámetros adecuados que evite cualquier daño en su salud. Para lo cual se debe establecer infraestructuras adecuadas que permitan el tratamiento de efluentes de distinta procedencia. Los responsables de ejecutar los distintos tratamientos deben tomar en cuenta que el agua para uso doméstico debe ser 100 % garantizada. [4]

Es necesario desarrollar este tema para la evaluación del tratamiento residual de agua ya que las empresas ecuatorianas cada vez más requieren la implementación de estos sistemas para sus instalaciones. La implementación de este sistema supone una alternativa económica viable en el ahorro del agua la misma que se puede reutilizar en los procesos industriales, y de este modo se evita el gasto permanente del recurso hídrico agua. Y si se desea liberar el agua tratada, retornará al ambiente purificado y libre de toda contaminación. [5]

Este proyecto de tesis toma como principal fundamento la conservación del medio ambiente y las iniciativas como regulaciones medioambientales que las entidades de control empiezan a priorizar para los sistemas que producen residuos que causan daño al medio ambiente. La producción de agua limpia es una alternativa tecnológica muy importante para nuestro entorno local, y es a la vez una tendencia global de la cultura de conservación para la renovación del medio ambiente. [6]

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que proceden de las distintas actividades ejecutadas por el ser humano y animales. Tomando en cuenta que pueden ser generadas de forma natural por medio de lluvias generando su acumulación en los diferentes sistemas de transporte de agua. Por lo tanto, podemos mencionar que este tipo de agua debido a su mala calidad no es apto para el consumo humano dado que se desconoce su procedencia y puede provocar daños en la salud. [7]



Figura 1.

Aguas residuales

Fuente: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>

1.1.3.2 Tipos de aguas residuales

1.1.3.2.1 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domésticas se originan de las actividades diarias que se ejecutan en los hogares de una determinada población. Al mismo tiempo se puede señalar que está compuesta de 99,9% de agua y 0,1% de diversos contaminantes que son perjudiciales para el organismo de los seres vivos que se derivan de los desechos sanitarios y labores domésticas rutinarias. [7]



Figura 2. *Aguas residuales domésticas*

Fuente: <https://fosassepticas.online/aguas-residuales-domesticas/>

1.1.3.2.2 Aguas residuales municipales

Se caracterizan principalmente porque su traslado es por medio de una red de alcantarillado que tiene el fin de evitar el acopio de aguas que provienen de la zona urbana donde se localizan un gran número de negocios, empresas e instituciones que se dedican a la comercialización y prestación de servicios. [7]

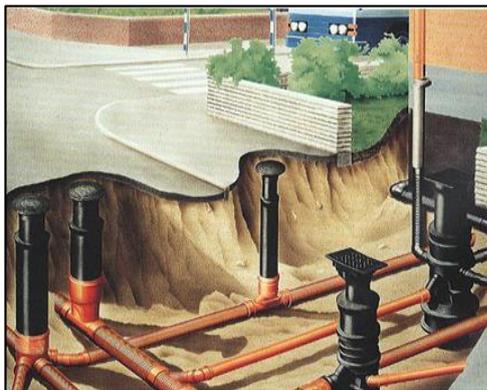


Figura 3. *Aguas residuales municipales*

Fuente: <https://www.aristegui.info/alcantarillado-urbano-red-de-saneamiento-de-aguas-residuales/>

1.1.3.2.3 Aguas residuales agropecuarias o agroindustriales

Este tipo de aguas son originarias de lugares que se dedican a la agricultura, avicultura y ganadería. Por otra parte se puede mencionar que este tipo de actividades que están relacionados con la crianza de animales y cultivo de alimentos generan un gran porcentaje de residuos que perjudican la calidad del agua, pero tiene una ventaja positiva porque puede ser empleada nuevamente en las actividades agrícolas. [7]



Figura 4.

Aguas residuales agropecuarios

Fuente: <https://www.iagua.es/noticias/onu/17/05/24/onu-publica-17-casos-exito-uso-aguas-residuales-agricultura>

1.1.3.2.4 Aguas residuales Industriales

La concentración y acumulación de contaminantes es procedente de las distintas industrias que se dedican a la transformación de materiales básicos en producción procesada. Además, se puede señalar que el tratamiento de este tipo de aguas va depender de las actividades que se ejecutan dentro de los procesos productivos y el sector industrial al que pertenece.



Figura 5.

Aguas residuales industriales

Fuente: <https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/aguas-residuales-industriales-caracteristicas/>

1.1.3.2.5 Aguas residual pluviales

Este tipo de aguas resulta cuando el agua de las lluvias se pone en contacto con varias superficies y desechos que presentan un alto nivel de contaminación. Al mismo tiempo se debe tomar en cuenta que por la excesiva contaminación del medio ambiente se originan las lluvias ácidas que son más perjudiciales para el ecosistema. [7]

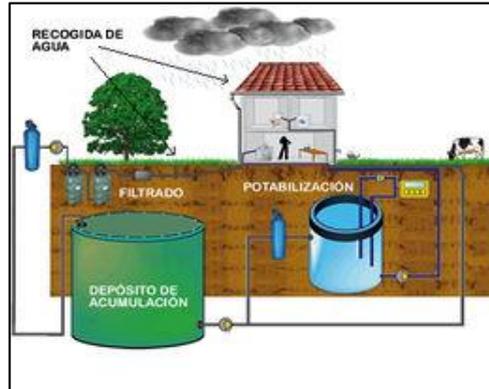


Figura 6.

Aguas residuales pluviales

Fuente: https://www.ecured.cu/Agua_pluvial

1.1.3.3 Características de las aguas Residuales

El agua natural que es principalmente para el consumo una vez que pasa por una serie de procesos contaminantes se transforma en agua residual teniendo en cuenta que dependen mucho de su lugar de origen. Por esta razón posee varias características físicas, que revelan de forma general los sólidos totales; las químicas, que permiten la medición de los sólidos orgánicos, inorgánicos y gases; y finalmente los biológicos, que ayudan a percibir la cantidad de los organismos biológicos presentes en el agua. Con relación a los tipos de características se van a ejemplificar en la Figura 7. [8]

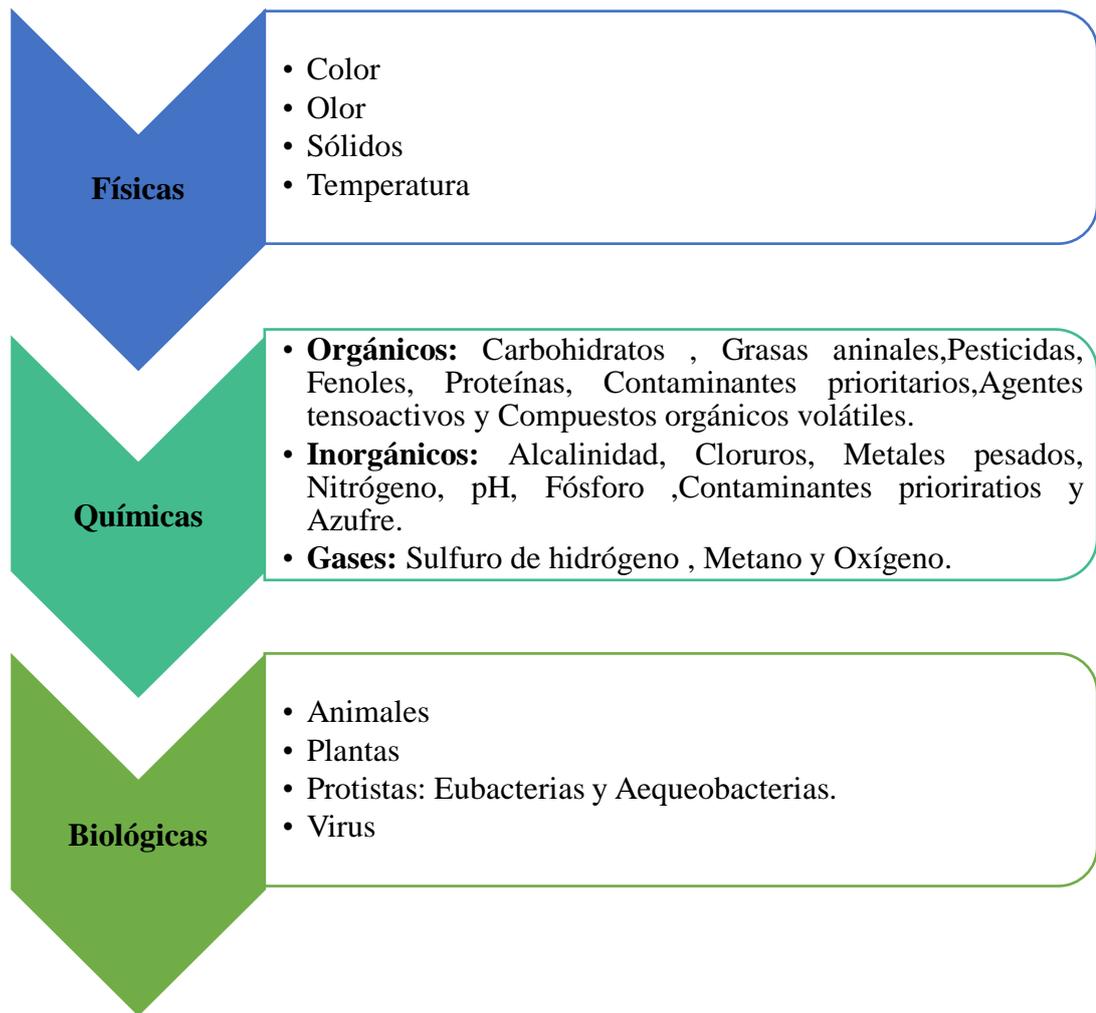


Figura 7.

Características de aguas residuales

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995 [8]

1.1.3.4 Plantas de tratamiento de agua residual

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son una herramienta de suma importancia en una población, puesto que tiene como función principal la eliminación de sustancias que se encuentran en los diferentes tipos de aguas contaminadas con el propósito de obtener aguas que cuenten con las normas adecuadas con el fin de reutilizarlas. El diseño de las estaciones depuradoras dependen del origen del agua residual y del tipo de tratamiento que se va efectuar que pueden ser: pretratamiento, primario, secundario y terciario. [9]



Figura 8.

Planta de tratamiento de aguas residuales

Fuente: <https://dagaequipment.com/es/b/blog/p/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-que-pasa-en-ellas-7>

1.1.3.5 Tratamiento para aguas residuales

Para el tratamiento de las aguas residuales se debe tomar en cuenta el tipo de agua con la finalidad de conocer el nivel de contaminación y proceder a establecer los tratamientos necesarios siguiendo los parámetros establecidos por las normas establecidas en el ministerio del ambiente.

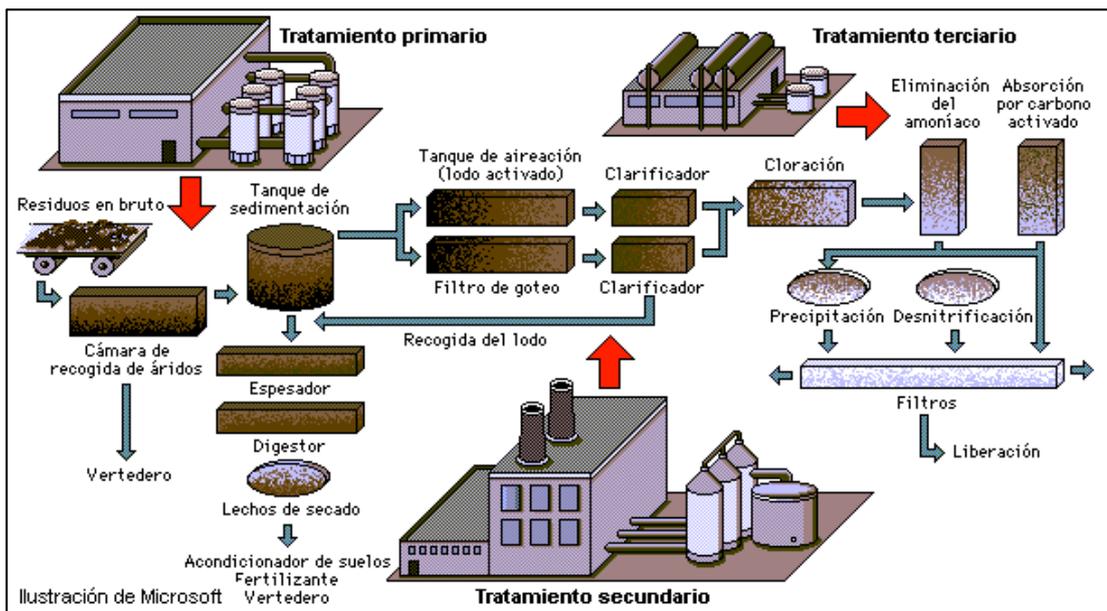


Figura 9.

Esquema de tratamiento de aguas residuales

Fuente: <http://tratamientoaguasresidualesliliana.blogspot.com/2015/05/>

1.1.3.5.1 Pretratamiento

Este proceso se desarrolla previamente al tratamiento primario debido a que se necesita remover la mayor parte de sólidos de gran dimensión por medio de un procedimiento de filtrado. [10]

1.1.3.5.2 Tratamiento primario

Este procedimiento se basa en la eliminación de una parte de los sólidos y compuestos orgánicos, mediante la sedimentación que consiste en la separación de partículas por gravedad. [10]

1.1.3.5.3 Tratamiento secundario

La función de esta etapa es la eliminar total de los sólidos y sustancias que se descomponen en un determinado tiempo para lo cual se efectúan una serie de procesos convencionales biológicos. [10]

1.1.3.5.4 Tratamiento terciario

Este tratamiento final es utilizado primordialmente para la eliminación de microorganismos infecciosos y todos los contaminantes que no fueron excluidos en tratamiento anterior con la finalidad de obtener agua que abarque los estándares apropiados para su reutilización. [10]

1.1.3.6 Reactor UASB

Un reactor UASB es un proceso biológico, utilizado principalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales, su función es la eliminación de todo tipo de compuestos orgánicos. Además, tenemos como ventaja principal la simplicidad en su manejo y reducido costo de diseño. [11]

1.1.3.7 Componentes para el tratamiento de agua residual

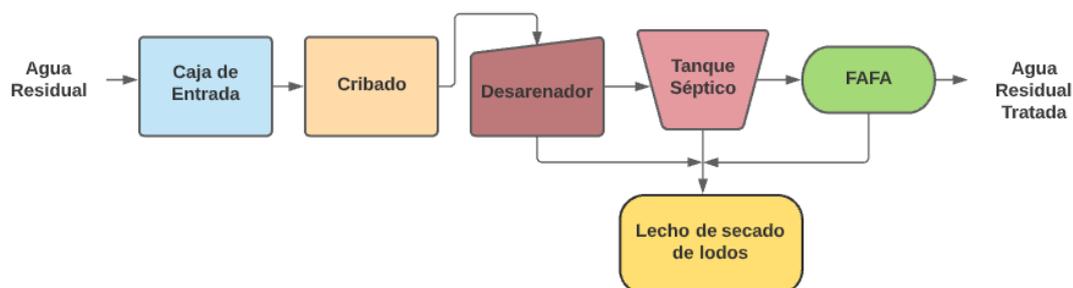


Figura 10.

Esquema de tratamiento de aguas residuales

Fuente: El Autor

1.1.3.7.1 Cribado

El cribado es una técnica que se ejecuta de forma manual y mecánica, que se encarga de la eliminación de residuos flotantes que se localizan a simple vista en las aguas residuales estos pueden ser finos o gruesos. Además para este proceso se utiliza rejillas para los sólidos finos poseen aberturas de 5 mm y en el caso de los sólidos gruesos tienen aberturas entre 4 a 9 cm. [12]

1.1.3.7.2 Desarenador

Es un proceso mediante el agua residual es retenida en la planta de tratamiento, para lo cual se reduce la velocidad del agua por un determinado tiempo con la finalidad de separar los sólidos que se encuentran después de haber pasado por el proceso de cribado. [13]

1.1.3.7.3 Tanque Séptico

El tanque séptico es un sistema de bajo costo que permite el tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico, es utilizado principalmente en las zonas rurales que no cuentan con una red de alcantarillado. Se encarga principalmente eliminar los residuos y sólidos por medio de proceso de sedimentación, tomando en cuenta que luego de esto se procede a la limpieza o extracción de lodos que se hace con mucha frecuencia para que no exista acumulación de las mismas. [14]

1.1.3.7.4 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

El FAFA es un sistema de tratamiento de aguas residuales que se centra primordialmente en la eliminación de residuos orgánicos con el uso de materiales filtrantes por el cual pasa el agua que proviene de los tanques sépticos pero de manera ascendente. [15]

1.1.3.7.5 Lecho de secado de Lodos

Los lechos de secado es una parte fundamental dentro de las plantas de tratamiento, que tiene como objetivo reducir el volumen del lodo por medio de la deshidratación que consiste en volatilizar los residuos que provocan la contaminación del agua. [14]

1.1.3.7.6 Desinfección de agua tratada

Las aguas residuales una vez que han pasado por una serie de tratamientos, poseen bacterias, microorganismos que no se eliminan en su totalidad por lo que es necesario pasar por un proceso de desinfección que asegurara que el agua tratada cumpla con los parámetros establecidos en la norma técnica ecuatoriana INEN 1108. [16]

1.1.3.7.7 Porcentajes de remoción teórica por procesos

Los porcentajes de rendimiento se obtienen tomando en cuenta el tipo de tratamiento y parámetros de aguas residuales por medio de un estudio previo, que sirve de base para determinar los porcentajes de eliminación exactos procedentes de los tratamientos primarios y secundarios de aguas residuales que ingresan a las plantas.

Tabla 1. Porcentajes de unidades de tratamiento

UNIDADES DE TRATAMIENTO	RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DEL CONSTITUYENTE, PORCENTAJE					
	BDO	DQO	SS	P ^b	N-Org ^c	NH ₃ -N
Rejas de barras	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo
Desarenadores	0-5 ^d	0-5 ^d	0-10 ^d	nulo	nulo	nulo
Sedimentación primaria	30-	30-40	50-	10-20	10-	0

	40		65		20	
Fangos activados						
(Proceso convencional)	80-95	80-85	80-90	10-25	15-50	8-15
Filtros precoladores						
Alta carga, medio pétreo	65-80	60-80	60-85	8-12	15-50	8-15
Carga muy alta, medio sintético	65-85	65-85	65-85	8-12	15-50	8-15
Biodiscos (RBCs)	80-85	80-85	80-85	10-25	15-50	8-15
Cloración	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo	nulo

Fuente: *Metalcalf & Eddy* [17]

1.1.3.8 Parámetros de las aguas residuales

1.1.3.8.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

Es uno de los principales parámetros utilizado para establecer la cantidad de oxígeno que es consumido por organismos microscópicos que se encuentran en el ambiente mismo que debe ser evidenciado en un determinado tiempo y temperatura estándar. Tomando en cuenta que permitirá conocer la calidad del agua por medio de un proceso de descomposición aeróbica que consiste en la oxidación de todo tipo de material hasta convertirlo en materia inorgánica. [18]

1.1.3.8.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Este parámetro es el responsable de la medición verídica del oxígeno que se necesita para la oxidación de materia orgánica natural localizada en el agua. Mismo que es ejecutado de manera minuciosa tomando una muestra de agua bajo ciertas especificaciones. [18]

1.1.3.8.3 Potencial Hidrógeno (pH)

El potencial de hidrogeno es un indicador que encuentra presente en el agua natural o residual, por lo general no causa daños en la salud. Interviene directamente en los procesos de tratamiento de los efluentes cuando se procede a colocar los químicos que permiten la desinfección de la misma. [19]

1.1.3.8.4 Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un nutriente que ayuda al crecimiento de varios organismos vivos, de igual manera se presenta de forma orgánica cuando el agua es para el consumo doméstico y de forma amoniacal como un contaminante debido al acopio de aguas residuales de modo que resulta perjudicial para la salud. [18]

Tabla 2. Impactos originados por tipos de nitrógeno

Forma del nitrógeno	Impacto
N-NH ₃	La oxidación del nitrógeno amoniacal en un curso receptor produce disminución del oxígeno disuelto. El nitrógeno amoniacal no ionizado puede causar toxicidad en varios organismos acuáticos.
N-NO ₃	El nitrógeno en forma de nitrato en aguas potables puede causar metahemoglobinemia en niños pequeños.
Nitrógeno total	El nitrógeno como nutriente es causa de un crecimiento excesivo de organismos acuáticos que consumen oxígeno durante la noche y excretan sustancias que causan olor y sabor.

Fuente: Pérez & Menéndez [18]

1.1.3.8.5 Fósforo (P)

El fósforo es un componente que cumple un papel muy importante dentro del ecosistema al igual que el nitrógeno dado que ayuda al crecimiento y desarrollo de organismos acuáticos. Por otro lado el exceso de estos elementos puede ocasionar varios cambios irreversibles que perjudican la calidad del agua. [18]

Tabla 3. Compuestos de fósforo

	Nombre	Fórmula
Ortofosfatos	Fosfato trisódico	Na ₃ PO ₄
	Fosfato disódico	Na ₂ HPO ₄
	Fosfato monosódico	NaH ₂ PO ₄

	Fosfato diamódico	$(\text{NH}_4)\text{HPO}_4$
	Hexametáfosfato de sodio	$\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$
Polifosfatos	Tripolifosfato de sodio	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$
	Pirofosfato tetrasódico	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$

Fuente: Pérez & Menéndez [18]

1.1.3.8.6 Sólidos Suspendedos (SS)

Es un parámetro físico de las aguas residuales que establece por medio de la filtración la cantidad de contaminantes retenidos. Además, se puede señalar que la acumulación de este tipo de sólidos genera la turbiedad del agua. [20]

1.1.3.9 Límites de descarga de agua residual tratada

Los límites de descarga son establecidos en la norma de calidad ambiental para que las empresas o instituciones tomen en cuenta la cantidad máxima de agua que se puede verter en los sistemas de alcantarillado, con el fin de evitar su colapso.

Tabla 4. Límites de descarga a la red de alcantarillado público

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio	-	mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN^-	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón	mg/l	0,1

	cloroformo		
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorado s totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH	-	6 - 9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0

Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C	-	< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetilen o	mg/l	1,0

Tabla 5. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁX. PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio	-	mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5

Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2

Potencial de hidrógeno	pH	-	6 - 9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄ -2	mg/l	1000
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C	-	Condición neutral ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

1.1.3.10 Criterios de calidad del agua

Los criterios de calidad del agua están establecidos en la norma de calidad ambiental con la finalidad que se tomen en cuenta para evitar la entrada de agua de mala calidad a los hogares que perjudique la salud de las personas y el sector agrícola.

Tabla 6. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1

Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino - Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	< 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	< 2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	Unidades de pH	6 – 9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Tabla 7. Criterios de calidad de agua para uso agrícola

Parámetro	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Aceites y grasas	Película Visible	-	Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Zinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos	-	.	Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible	-	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3

pH	pH	-	6 - 9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

1.1.4 Hipótesis

1.1.4.1 Hipótesis de trabajo

La planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la parroquia rural Mulaló, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi no se encuentra en funcionamiento y mantenimiento debido a las condiciones actuales.

1.1.4.2 Hipótesis nula

La planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la parroquia rural Mulaló, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi se encuentra en funcionamiento y mantenimiento debido a las condiciones actuales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Mulaló, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar la información sobre el funcionamiento de la planta de tratamiento de la parroquia Mulaló.
- Determinar la calidad del agua residual de la planta de tratamiento mediante el análisis de muestras.
- Relacionar la normativa vigente del TULSMA 2015 con el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Diseñar la readecuación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Materiales y Equipos

Tabla 8. Materiales

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
Balde 6 lt	1	Unidad
Botella plástica	2	Unidad
Botella de vidrio	2	Unidad
Flexómetro	1	Unidad
Cinta métrica	1	Unidad
Hojas	1	Resma
Carpeta	1	Unidad
Cronómetro	1	Unidad
Computadora	1	Unidad
Impresora	1	Unidad
Cuaderno	1	Unidad

Fuente: El autor

Tabla 9. Equipos de seguridad

EQUIPOS	CANTIDAD	UNIDAD
Guantes de látex	16	Unidad
Mascarilla	8	Unidad
Botas de seguridad	1	PAR
Mandil	1	Unidad

Fuente: El autor

2.2 Metodología

El presente trabajo experimental de titulación se realiza la evaluación del funcionamiento de la planta de aguas residuales existente en la parroquia Mulalo, perteneciente al cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, para lo cual se llevará a cabo las siguientes fases:

FASE 1: Levantamiento de información

En esta fase se realizará la recopilación de datos e información existente sobre la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Mulaló como: dimensiones, componentes, año de construcción y actividad socioeconómica de la parroquia.

FASE 2: Investigación de campo

En esta fase se realizará la medición del caudal de salida de la PTAR para determinar las horas pico en la cuales hay mayor y menor cantidad de agua, para posterior realizar la toma de muestra del agua en dichos horarios. **Nota:** La medición se realizará solo de la descarga por motivo que la planta de tratamiento se encuentra fuera de funcionamiento por colapso, pues actualmente la planta tiene una capacidad de 2,5 l/s lo que no satisface al tratamiento. Además, que no se puede acceder al pozo principal.

FASE 3: Investigación de laboratorio

En esta fase se realizará el análisis de la calidad del agua de la muestra tomada de agua residual de la descarga de la planta de tratamiento de la parroquia Mulaló en un laboratorio especializado. En la cual se realizará el análisis de las características que tiene el agua residual como: pH, DQO, DBO5, Aceites y grasas, detergentes, nitrógeno total, fosforo total, solidos totales, solidos sedimentables y solidos suspendidos.

FASE 4: Análisis y verificación de funcionamiento

En esta fase se realiza la comparación de los resultados obtenidos del análisis de laboratorio con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) para descargas a un cuerpo de agua dulce. Además, del diagnóstico de las infraestructuras construidas existentes de la Planta de tratamiento de agua residual.

2.2.1 Proceso de Recolección de Datos

2.2.1.1 Fase 1 Levantamiento de información

La parroquia Mulaló se encuentra ubicada a 19 km al norte del centro de la ciudad de Latacunga aproximadamente, limita al norte con el cantón Mejía, al sur con las Parroquias de Joseguango Bajo y Aláquez, al oeste con la provincia del Napo y al oeste con las parroquias de Pastocalle, Tanicuchí y Guaytacama. El área territorial aproximada es de 509.42 km² y con una población de 10217 personas, su cabecera parroquial se encuentra a 3000 msnm por lo cual sus temperaturas varían entre 10 y 17 grados centígrados.



Figura 11.

Parroquia de Mulaló

Fuente: El autor

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra ubicada al ingreso de la parroquia la misma que se encuentra fuera de funcionamiento por problemas de mantenimiento y capacidad. La planta de tratamiento fue construida en el año 2016 por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Latacunga pedido realizado por los pobladores y dignidades de la parroquia.

La Planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia de Mulaló cuenta con los siguientes procesos que fueron definidos para el tratamiento, control y desinfección del agua residual los cuales son: Desarenador, Tanque de Equilibrio, Reactores de Baffles, Filtro facultativo (Fitopedológico) y Cuarto de control. Con un área de implantación de 1200 metros cuadrados.

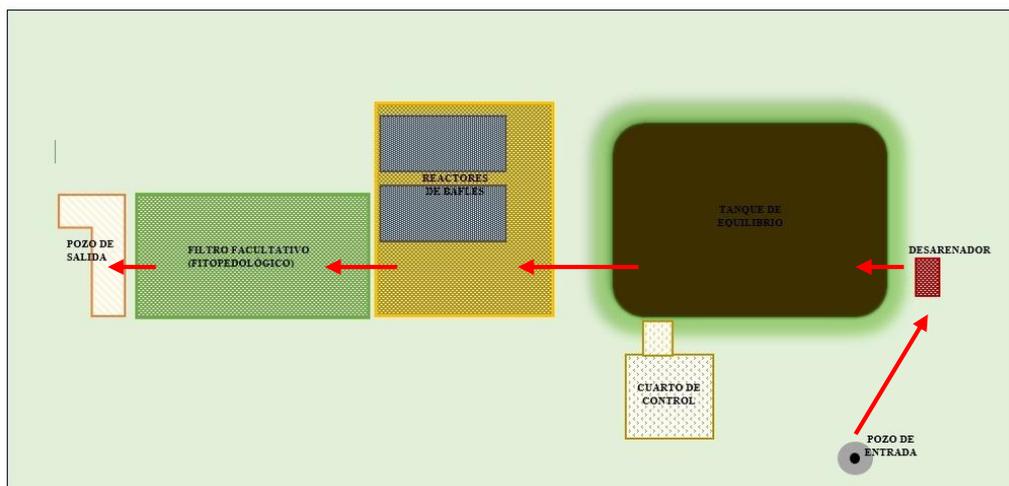


Figura 12. Implantación de la planta de tratamiento perteneciente a la parroquia de Mulaló

Fuente: El autor

2.2.1.2 FASE 2: Investigación de campo

2.2.1.2.1 Medición de caudales

Para la medición de los caudales en la descarga de la planta de tratamiento de la parroquia Mulaló se puso en práctica el método volumétrico en el que se utiliza un balde con medida y un cronometro para la determinación del volumen y el tiempo para realizar su relación y obtener el caudal. La medición de los caudales se lo realizó durante 7 días seguidos a partir del 21 al 27 de junio de 2021. La medición de realiza a cada hora durante un tiempo de 8 horas.

Tabla 10. Muestreo de caudal del primer día (lunes)

1er Día de muestreo				
Nº Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	8:00 A 9:00	2.14	2.64	541.32
2	9:00 A 10:00	2.93	2.64	741.15
3	10:00 A 11:00	2.51	2.64	634.91
4	11:00 A 12:00	2.13	2.64	538.79
5	12:00 A 13:00	3.09	2.64	781.62
6	13:00 A 14:00	4.03	2.64	1019.39
7	14:00 A 15:00	2.17	2.64	548.90
8	15:00 A 16:00	2.42	2.64	612.14
9	16:00 A 17:00	2.30	2.64	581.79
Volumen final de la muestra compuesta				6000.00

Fuente: El autor

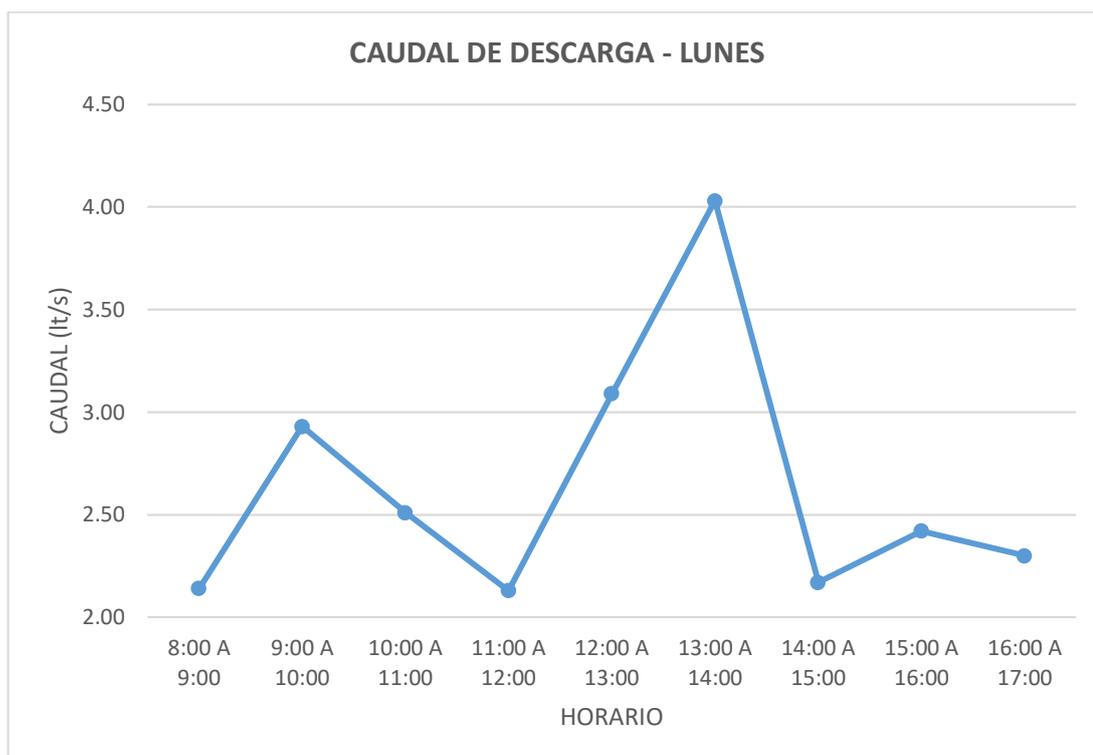


Figura 13.

Comportamiento de caudal de descarga – Lunes

Fuente: El autor

Tabla 11.

Muestreo de caudal del segundo día (martes)

2do Día de muestreo				
N° Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	8:00 A 9:00	2.11	3.07	457.70
2	9:00 A 10:00	2.09	3.07	453.36
3	10:00 A 11:00	3.11	3.07	674.62
4	11:00 A 12:00	2.40	3.07	520.61
5	12:00 A 13:00	3.47	3.07	752.71
6	13:00 A 14:00	4.65	3.07	1008.68
7	14:00 A 15:00	3.11	3.07	674.62
8	15:00 A 16:00	2.90	3.07	629.07
9	16:00 A 17:00	3.82	3.07	828.63
Volumen final de la muestra compuesta				6000.00

Fuente: El autor

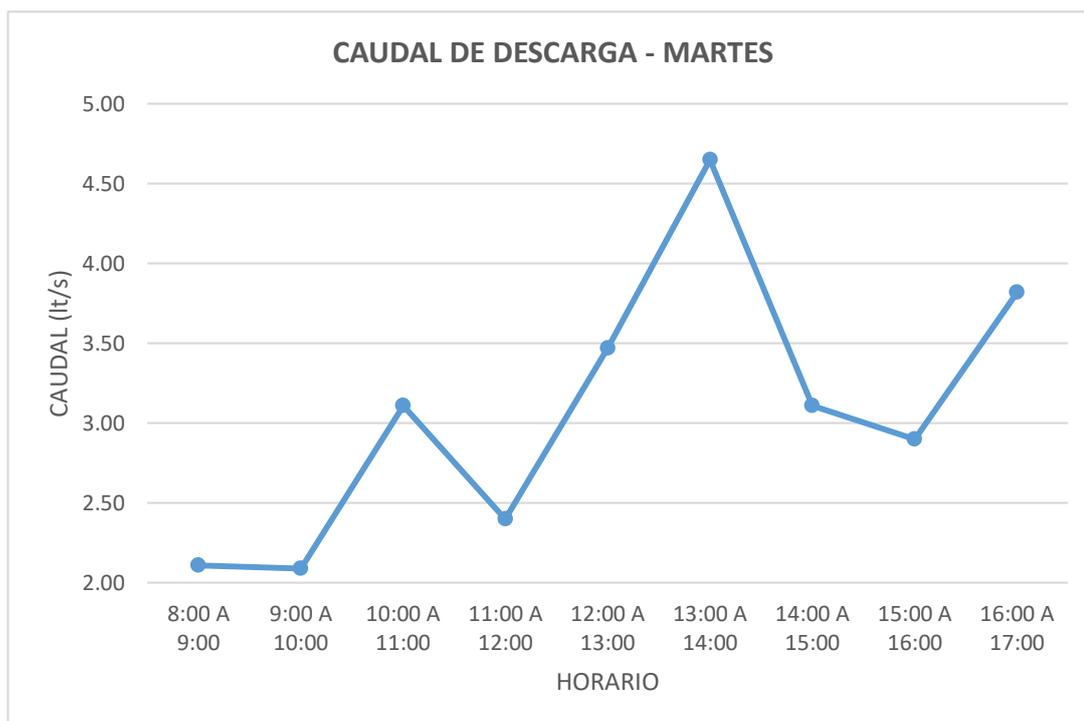


Figura 14.

Comportamiento de caudal de descarga – Martes

Fuente: El autor

Tabla 12.

Muestreo de caudal del tercer día (miércoles)

3er Día de muestreo				
N° Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	8:00 A 9:00	2.29	3.10	492.65
2	9:00 A 10:00	2.93	3.10	630.33
3	10:00 A 11:00	3.41	3.10	733.60
4	11:00 A 12:00	3.08	3.10	662.60
5	12:00 A 13:00	3.05	3.10	656.15
6	13:00 A 14:00	4.29	3.10	922.91
7	14:00 A 15:00	3.03	3.10	651.85
8	15:00 A 16:00	2.76	3.10	593.76
9	16:00 A 17:00	3.05	3.10	656.15
Volumen final de la muestra compuesta				6000.00

Fuente: El autor

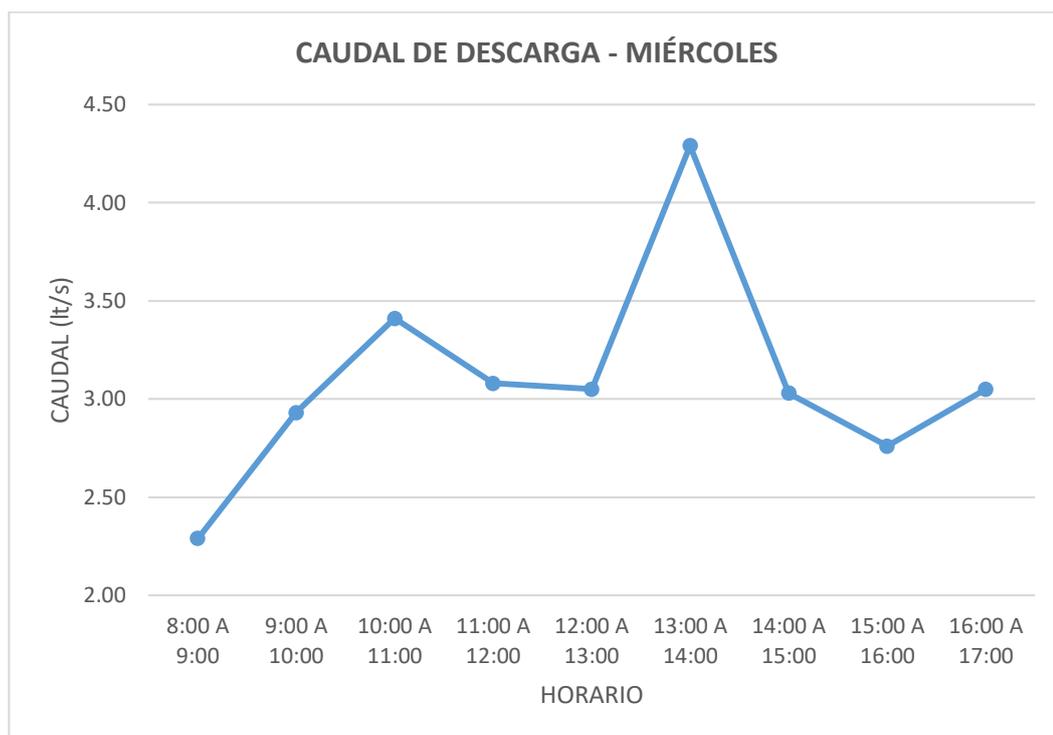


Figura 15.

Comportamiento de caudal de descarga – Miércoles

Fuente: El autor

Tabla 13.

Muestreo de caudal del cuarto día (jueves)

4to Día de muestreo				
N° Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	8:00 A 9:00	2.59	3.14	549.89
2	9:00 A 10:00	2.69	3.14	571.13
3	10:00 A 11:00	2.55	3.14	541.40
4	11:00 A 12:00	3.45	3.14	732.48
5	12:00 A 13:00	3.57	3.14	757.96
6	13:00 A 14:00	4.20	3.14	891.72
7	14:00 A 15:00	3.26	3.14	692.14
8	15:00 A 16:00	2.93	3.14	622.08
9	16:00 A 17:00	3.02	3.14	641.19
Volumen final de la muestra compuesta				6000.00

Fuente: El autor

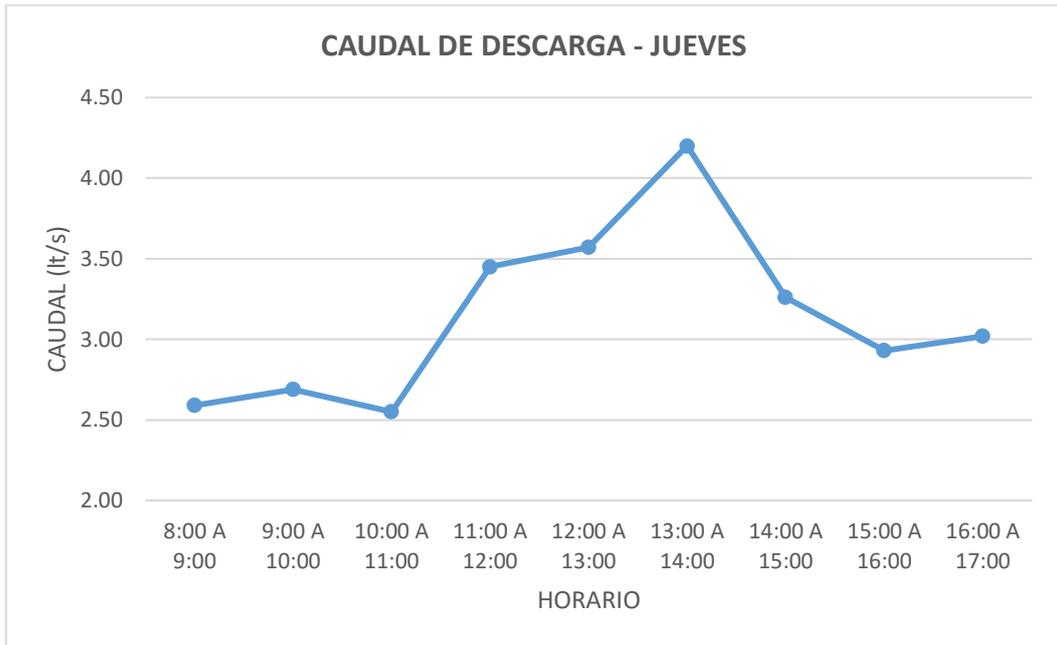


Figura 16.

Comportamiento de caudal de descarga – Jueves

Fuente: El autor

Tabla 14.

Muestreo de caudal del quinto día (viernes)

5to Día de muestreo				
Nº Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	8:00 A 9:00	2.21	2.88	511.18
2	9:00 A 10:00	2.03	2.88	469.55
3	10:00 A 11:00	2.64	2.88	610.64
4	11:00 A 12:00	3.17	2.88	733.23
5	12:00 A 13:00	3.97	2.88	918.27
6	13:00 A 14:00	4.23	2.88	978.41
7	14:00 A 15:00	2.26	2.88	522.74
8	15:00 A 16:00	2.63	2.88	608.33
9	16:00 A 17:00	2.80	2.88	647.65
Volumen final de la muestra compuesta				6000.00

Fuente: El autor

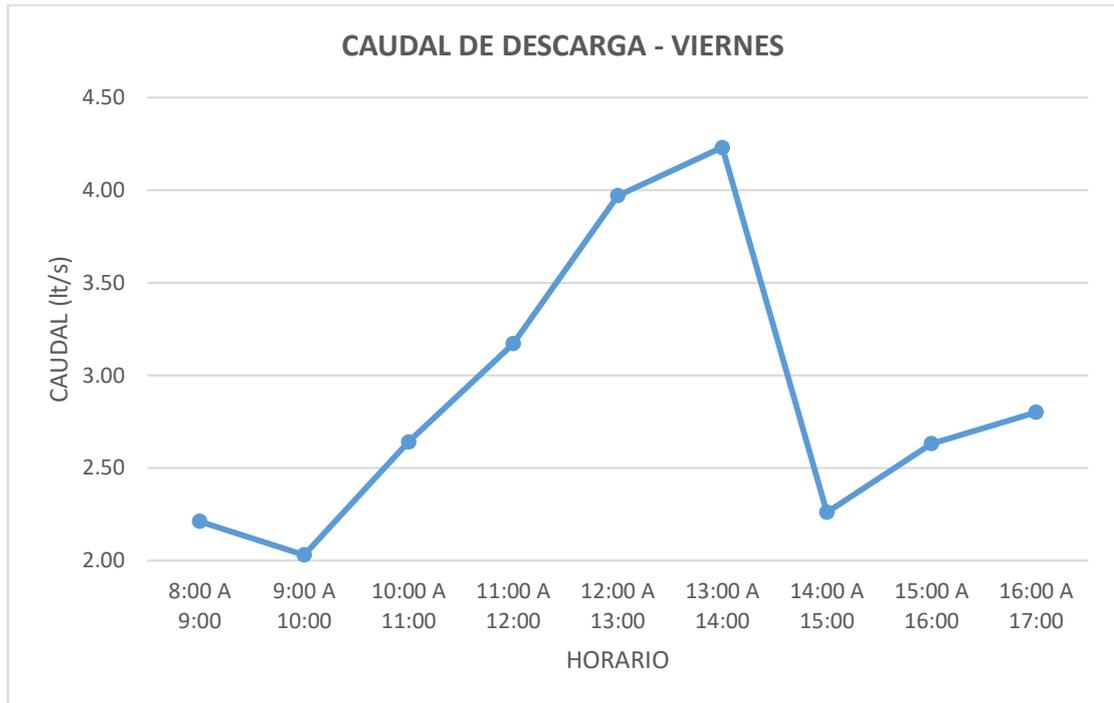


Figura 17.

Comportamiento de caudal de descarga – Viernes

Fuente: El autor

Tabla 15.

Muestreo de caudal del sexto día (sábado)

6to Día de muestreo				
Nº Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	8:00 A 9:00	1.95	3.00	432.85
2	9:00 A 10:00	2.78	3.00	617.09
3	10:00 A 11:00	2.74	3.00	608.21
4	11:00 A 12:00	3.92	3.00	870.14
5	12:00 A 13:00	3.30	3.00	732.52
6	13:00 A 14:00	3.95	3.00	876.80
7	14:00 A 15:00	3.31	3.00	734.74
8	15:00 A 16:00	2.48	3.00	550.50
9	16:00 A 17:00	2.60	3.00	577.14
Volumen final de la muestra compuesta				6000.00

Fuente: El autor

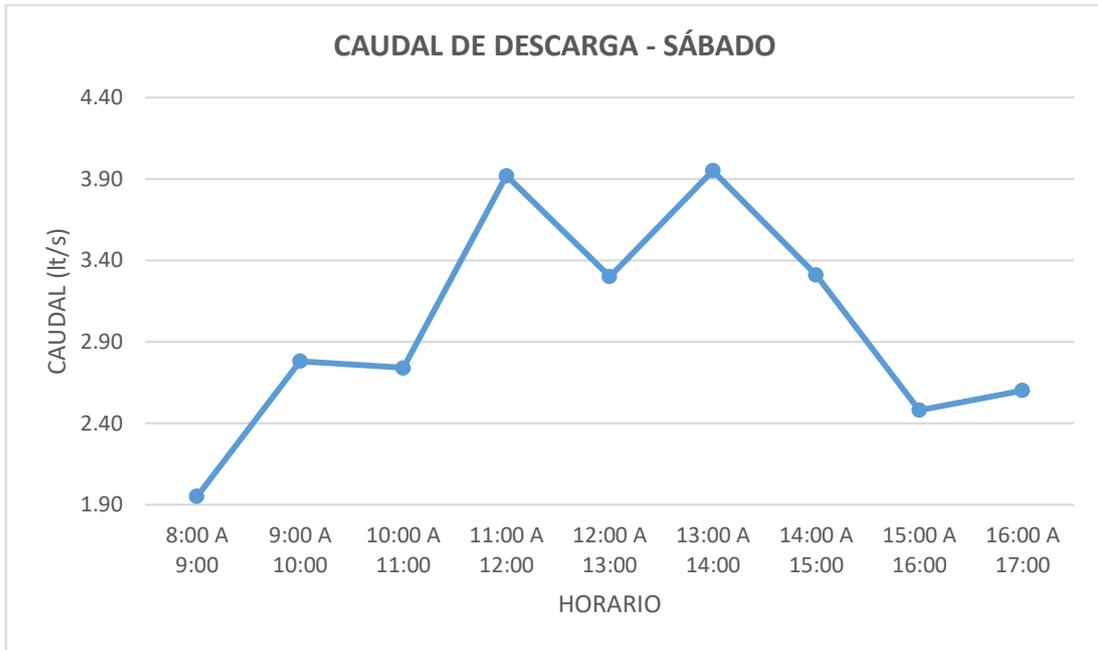


Figura 18.

Comportamiento de caudal de descarga – Sábado

Fuente: El autor

Tabla 16.

Muestreo de caudal séptimo día (domingo)

7mo Día de muestreo				
N° Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	8:00 A 9:00	2.20	2.92	501.52
2	9:00 A 10:00	2.51	2.92	572.19
3	10:00 A 11:00	2.79	2.92	636.02
4	11:00 A 12:00	2.90	2.92	661.09
5	12:00 A 13:00	3.37	2.92	768.24
6	13:00 A 14:00	4.23	2.92	964.29
7	14:00 A 15:00	2.78	2.92	633.74
8	15:00 A 16:00	2.67	2.92	608.66
9	16:00 A 17:00	2.87	2.92	654.26
Volumen final de la muestra compuesta				6000.00

Fuente: El autor

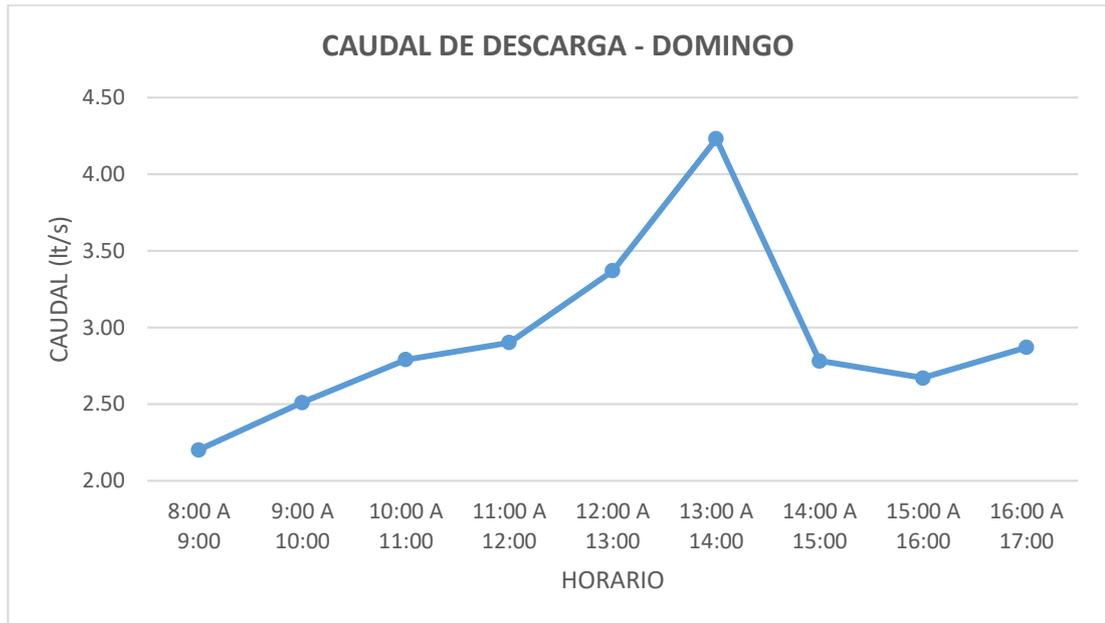


Figura 19. Comportamiento de caudal de descarga – Domingo

Fuente: El autor

Tabla 17. Resumen de la toma de Caudales de Descarga en lt/s

HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO
8:00 A 9:00	2.14	2.11	2.29	2.59	2.21	1.95	2.20	2.21
9:00 A 10:00	2.93	2.09	2.93	2.69	2.03	2.78	2.51	2.57
10:00 A 11:00	2.51	3.11	3.41	2.55	2.64	2.74	2.79	2.82
11:00 A 12:00	2.13	2.40	3.08	3.45	3.17	3.92	2.90	3.01
12:00 A 13:00	3.09	3.47	3.05	3.57	3.97	3.30	3.37	3.40
13:00 A 14:00	4.03	4.65	4.29	4.20	4.23	3.95	4.23	4.23
14:00 A 15:00	2.17	3.11	3.03	3.26	2.26	3.31	2.78	2.85
15:00 A 16:00	2.42	2.90	2.76	2.93	2.63	2.48	2.67	2.68
16:00 A 17:00	2.30	3.82	3.05	3.02	2.80	2.60	2.87	2.92

Fuente: El autor

Se puede evidenciar observando los resultados obtenidos de la medición de los caudales que la hora con mayor caudal durante el día y la semana fue en el horario de 13:00 a 14:00, puesto que en este horario los pobladores del sector acceden a su hora de almuerzo, mientras que el horario con menor caudal durante el día y la semana es 8:00 a 9:00, puesto que en este horario los pobladores del sector realizan sus actividades de agricultura y ganadería.

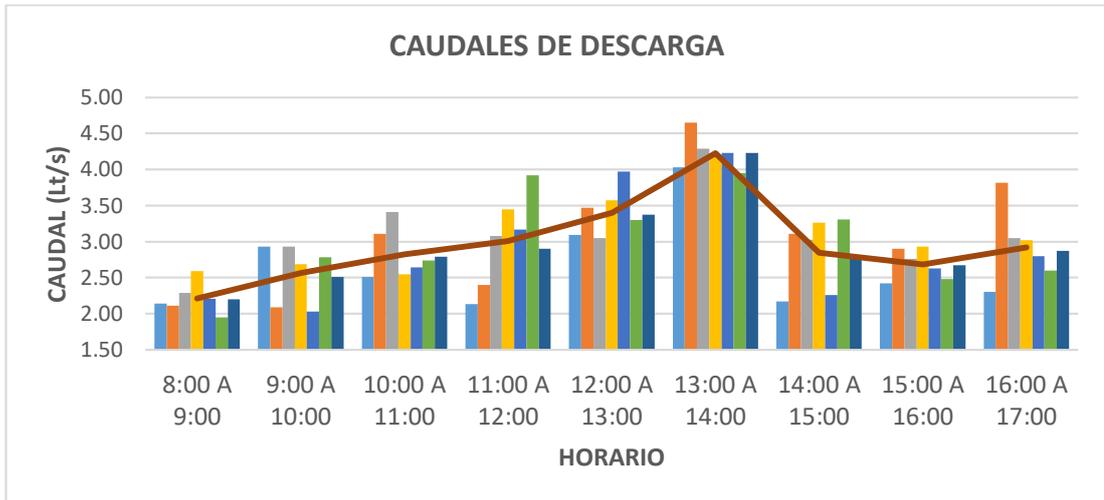


Figura 20.

Comportamiento de los caudales de salida

Fuente: El autor



Figura 21.

Toma de caudales en la descarga

Fuente: El autor

2.2.1.3 FASE 3: Investigación de laboratorio

La toma y conservación de las muestras se lo realizó el día 6 de julio de 2021 según lo establece la norma NTE INEN 2 169:1998 y NTE INEN 2 176.1998. Se realizó la toma de dos muestras de la descarga de la planta de tratamiento.



Figura 22.

Muestreo del agua residual en la descarga

Fuente: El autor



Figura 23.

Identificación de las muestras

Fuente: El autor



Figura 24.

Conservación de muestras

Fuente: El autor

Tabla 18.

Tabla Resultados de análisis de agua de descarga PTAR

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	-	PE-LSA-01	5,42	+/- 0,08	06-07-21
* DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D	1580	N/A	06-07-21
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	810	N/A	06-07-21
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418,1	330	N/A	06-07-21
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C	10,14	N/A	06-07-21
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 N - B	46,30	N/A	06-07-21
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 P - E	6,20	N/A	06-07-21
* Sólidos Totales	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - B	1286	+/- 8%	06-07-21
* Sólidos Sedimentables	ml/l	STANDARD METHODS 25040 F	10	N/A	06-07-21
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 25040 D	478	N/A	06-07-21

Fuente: Laboratorio de servicios ambientales UNACH

2.2.1.4 FASE 4: Análisis y verificación de funcionamiento PTAR

La planta de tratamiento se encuentra actualmente fuera de funcionamiento por motivo de la falta de mantenimiento, erróneo cálculo de capacidad y control lo que provocó el colapso, se puede presenciar estancamiento de agua residual en el pozo de entrada, vegetación (algas) en el tanque de equilibrio, la presencia de aguas negras en los reactores baffles y mucha maleza en el filtro facultativo (Fitopedológico).



Figura 25. Estructura en planta de PTAR de la parroquia Mulaló
Fuente: El autor

La planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con el diagrama de tratamiento conformado por: Caja de Entrada, Desarenador, Tanque de equilibrio, Reactores bafles SAMM y Filtro Fitopedológico. A continuación, se especifica el estado actual de las componentes hidráulicas que conforman la PTAR.

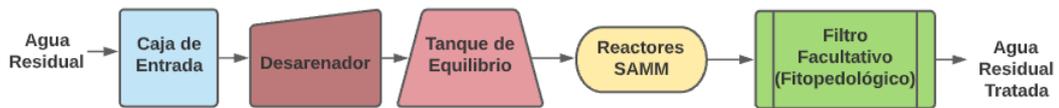


Figura 26. Proceso de tratamiento actual del PTAR
Fuente: El Autor

2.2.1.4.1. Pozo de entrada

Se encuentra obstruida de basura lo que impide el ingreso del agua residual a la planta de tratamiento para su desinfección. Además, que no se puede acceder a la cámara de sedimentación.



Figura 27.

Pozo de entrada colapsado

Fuente: El autor

2.2.1.4.2. Tanque de equilibrio

El tanque de equilibrio se encontró con la presencia de algas además de estar a su máxima capacidad debido a la falta de mantenimiento, produciendo que las dos bombas sumergidas se deterioraran hasta el punto de que perder funcionamiento y haciendo que el sistema se afectara y provocará la interrupción del proceso a los demás componentes de pretratamiento.



Figura 28.

Estado actual del tanque de equilibrio

Fuente: El autor



Figura 29.

Panel de control de PTAR

Fuente: El autor

2.2.1.4.3 Reactor de baffles

La planta de tratamiento de aguas residuales posee 2 reactores baffles SAMM, los mismos que internamente se encuentran con material filtrante en malas condiciones, Al acceder a la llave de salida del reactor se puede presenciar aguas negras, no existiendo un adecuado control operativo en el proceso biológico.



Figura 30.

Estado actual de los reactores baffles

Fuente: El autor



Figura 31.

Material filtrante del reactor

Fuente: El autor

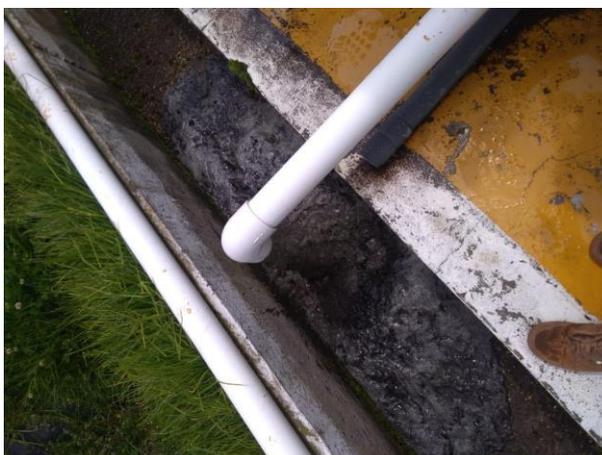


Figura 32.

Llave de salida de reactor

Fuente: El autor

2.2.1.4.4 Filtro Facultativo (Fitopedológico)

El Filtro Fitopedológico, también denominado como hidropónico de grava se encuentra con presencia de maleza por no existir el mantenimiento frecuente de la superficie como del área adyacente por parte de las autoridades pertinentes municipales, el estado actual de este componente puede provocar infiltraciones hacia el terreno. Además de la obstrucción hacia la cámara de desinfección.



Figura 33.

Estado actual de Filtro Fitopedológico

Fuente: El autor



Figura 34.

Descarga del agua residual a un cuerpo de agua dulce

Fuente: El autor

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Análisis de muestras de agua residual

El agua residual que descarga el sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Mulaló hacia el cuerpo de agua dulce proviene de uso doméstico, agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Esto siendo efecto de la descarga de productoras, comercializadores y exportadoras de alimentos, flores, lácteos ubicados en la parroquia. Por la razón, de que el sistema de ingreso hacia la planta de tratamiento se encuentra colapsado y la inaccesibilidad al sistema de alcantarillado se procedió a la toma de muestras en la zona de descarga ubicada a 1.4 kilómetros de la planta de tratamiento, por tal razón el muestreo se lo realizó de la siguiente forma:

- Se procedió al muestreo del agua residual en la zona de descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales y el sistema de alcantarillado en el horario de 13:00 a 14:00 martes 22 de junio de 2021, ya que en este horario existe una descarga elevada de agua por motivos de las actividades económicas.

Las muestras tomadas se realizaron de acuerdo a la normativa NTE INEN 2176. Las cuales fueron identificadas, conservadas y transportadas en envases polietileno según especificaciones de normativa NTE INEN 2169 para conservación y análisis de muestras de aguas residuales, posteriormente fueron llevadas al Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) para las pruebas físicas químicas del agua residual y la obtención de los parámetros como Demandas Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitrógeno Total, Aceites y grasas, Detergentes, pH, Fósforo total, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentales y Sólidos Suspendidos según el Método o Procedimiento requerido para la interpretación y relación según valores establecidos con la Norma TULSMA 2015.

3.1.2 Análisis comparativo de resultados con el TULSMA 2015

La planta de tratamiento de agua residuales de la parroquia Mulaló tiene los siguientes componentes individuales o unitarios para la descontaminación, tratamiento y desinfección del agua residual: Desarenador, Tanque de Equilibrio, Reactores de baffles y Filtro Facultativo (Fitopedológico).

Según METCALF Y EDDY cada proceso tiene su porcentaje de rendimiento de eliminación del constituyente según se muestra en la siguiente tabla. La misma que establece los parámetros que serán usados para el análisis del funcionamiento de la planta de tratamiento presente en el siguiente trabajo.

Tabla 19.

Tabla remoción de contaminantes por procesos

UNIDADES DE TRATAMIENTO	RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DEL CONSTITUYENTE, PORCENTAJE					
	BDO	DQO	SS	Pb	N-Org c	NH3-N
Desarenadores	5	5	10	0	0	0
Reactor	95	85	90	25	50	15
Filtros precoladores						
Alta carga, medio pétreo	80	80	85	12	50	15
Total remoción teórica	99.05	97.15	98.65	34	75	27.75

Fuente: METCALF Y EDDY [8]

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis físico químico en el laboratorio se procede a comparados con los valores permitidos para descargar de agua residual tratada hacia un cuerpo de agua dulce que se especifica en la tabla 10 del Texto Unificado de Legalización Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA 2015), de tal modo verificar el cumplimiento de dicha normativa.

Tabla 20.

Tabla Relación de resultados de laboratorio y TULSMA 2015

PARÁMETRO	U	MÉTODO	DESCARGA	TULSMA LÍMITE MÁX	CUMPLE
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220-D	1580	200	NO
DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210-B	810	100	NO
Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540-D	478	130	NO

Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 P-E	6.3	10	SI
Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 N-B	46.3	50	SI
Aceites y Grasas	mg/l	EPA 418,1	330	30	NO

Fuente: El autor

Analizado y relacionado los valores obtenidos en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo se identifica que la planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la parroquia de Mulaló se encuentra fuera de funcionamiento, como se puede verificar los valores de DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos son excesivamente elevados. Para lo que se procede a realizar una evaluación de la planta de tratamiento y de cada una de las obras hidráulicas actuales.

3.2 Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia de Mulaló

3.2.1 Diagnóstico Técnico

Mediante la información compartida por la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado de Latacunga (DIMAPAL) como: dimensiones, especificación del agua residual que ingresa y la condición actual de la PTAR, se procede a la verificación del funcionamiento de la misma.

3.2.2 Partes del Sistema de Tratamiento de la PTAR actual.

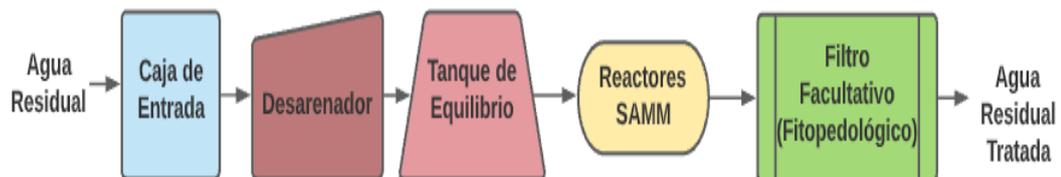


Figura 35.

Diagrama de flujo de la PTAR Mulaló actual

Fuente: El autor

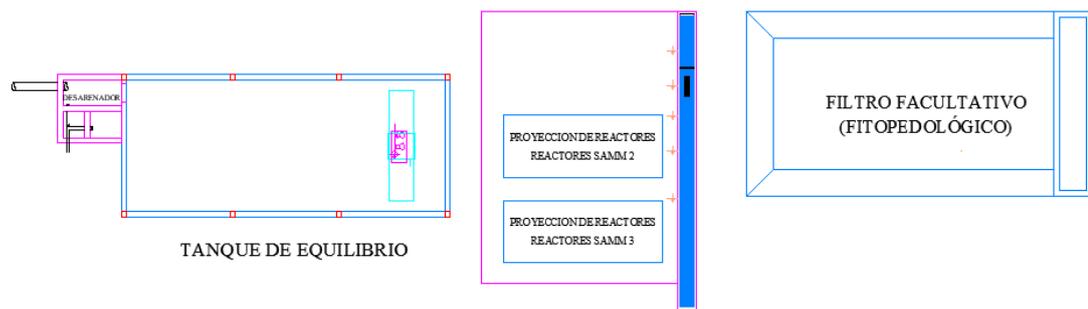


Figura 36.

Vista en planta de la PTAR

Fuente El autor

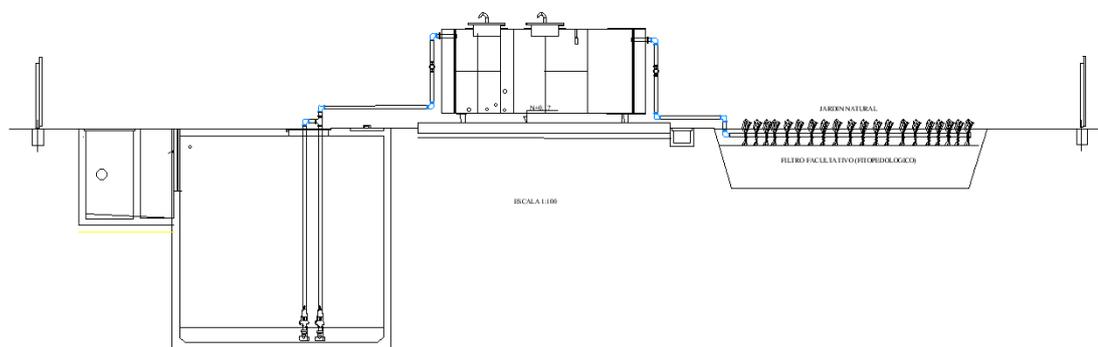


Figura 37.

Vista en elevación de la PTAR

Fuente El autor

3.2.3 Dimensiones actuales de las obras hidráulicas actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de Mulaló

3.2.3.1 Sedimentador

Estructura de hormigón armado, que tiene como finalidad el transporte del agua residual proveniente del sistema de alcantarillado sanitario a través de una tubería PVC de 200 mm de diámetro. **Nota:** De acuerdo a la verificación de sitio, el ingreso de agua residual a la planta de tratamiento es nula, por colapso del pozo de entrada e inaccesibilidad a compuerta de ingreso.

Tabla 21.

Tabla Dimensiones Sedimentador

Parámetro	Valor	Unidad
Largo	2.60	m
Ancho	2.40	m
Altura	2.90	m
Espesor	0.20	m

Fuente: El autor

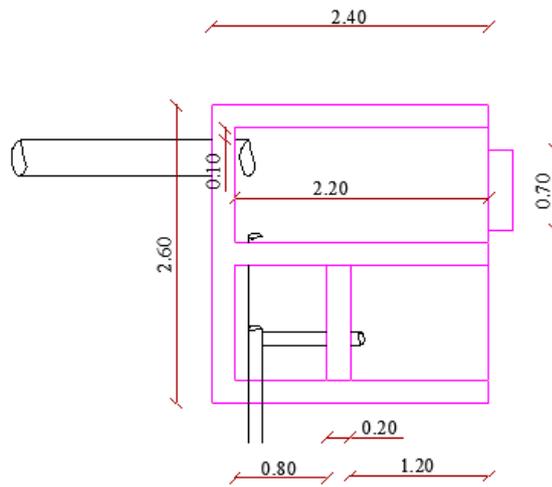


Figura 38.

Vista en planta sedimentador PTAR

Fuente: El autor

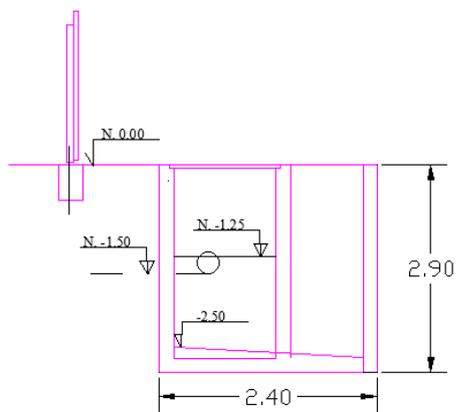


Figura 39.

Vista en elevación sedimentador PTAR

Fuente: El autor

3.2.3.2 Tanque de Equilibrio

Estructura de hormigón armado, la misma que poseen una abertura de 1 metro por 70 centímetros, el cual recibe el agua del sedimentador, a través de dos tuberías de 2 pulgadas e impulsado por dos bombas el flujo se transporta hacia el reactor de baffles. El estado actual de la componente es la presencia de algas y la quema de las bombas.

Tabla 22.

Tabla Dimensiones Tanque de Equilibrio

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	12.40	m
Ancho	5.40	m
Altura	5.90	m
Espesor de paredes	0.20	m

Fuente: El autor

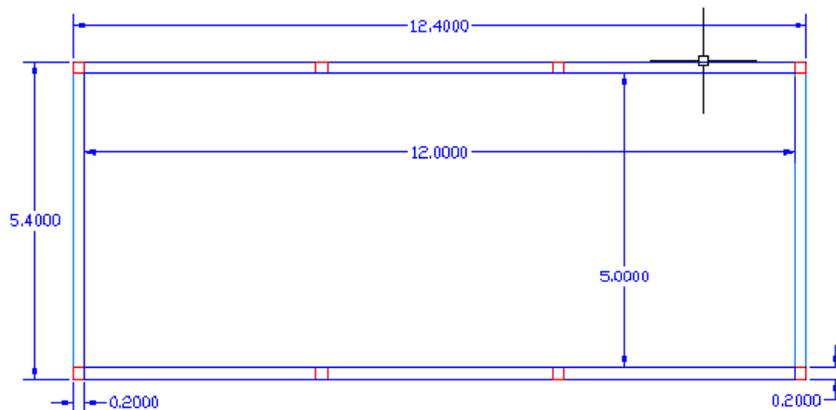


Figura 40.

Vista en planta de Tanque de Equilibrio PTAR

Fuente: El autor

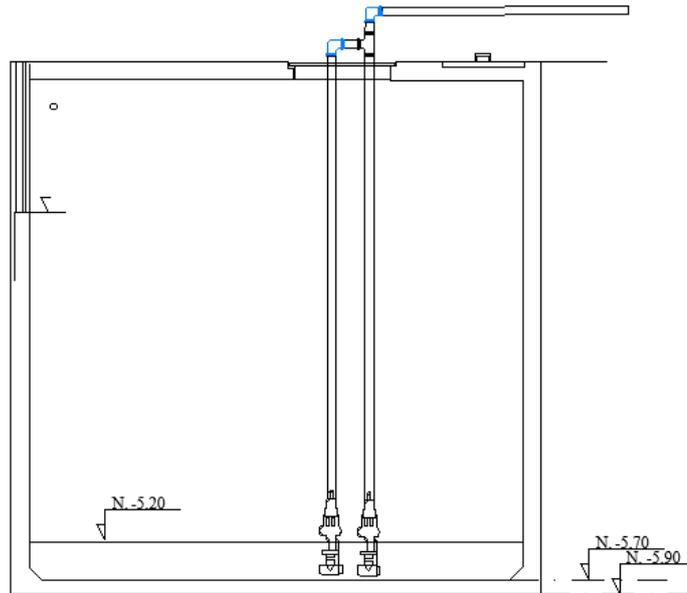


Figura 41.

Vista en elevación Tanque de Equilibrio PTAR

Fuente: El autor

3.2.3.3 Reactores de Baffles

Tanque metálico de acero A36, incluye interiormente uniones y sistema de tubería, relleno de material filtrante activado, específicamente mineral natural, interconexiones internas entre los varios compartimentos internos. Actualmente, los reactores internamente poseen material filtrante en mal estado por el déficit control y mantenimiento.

Tabla 23.

Tabla Dimensiones de Reactor de Baffles

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Largo	6.01	m
Ancho	2.38	m
Altura	2.13	m
Espesor de losa	0.20	m

Fuente: El autor

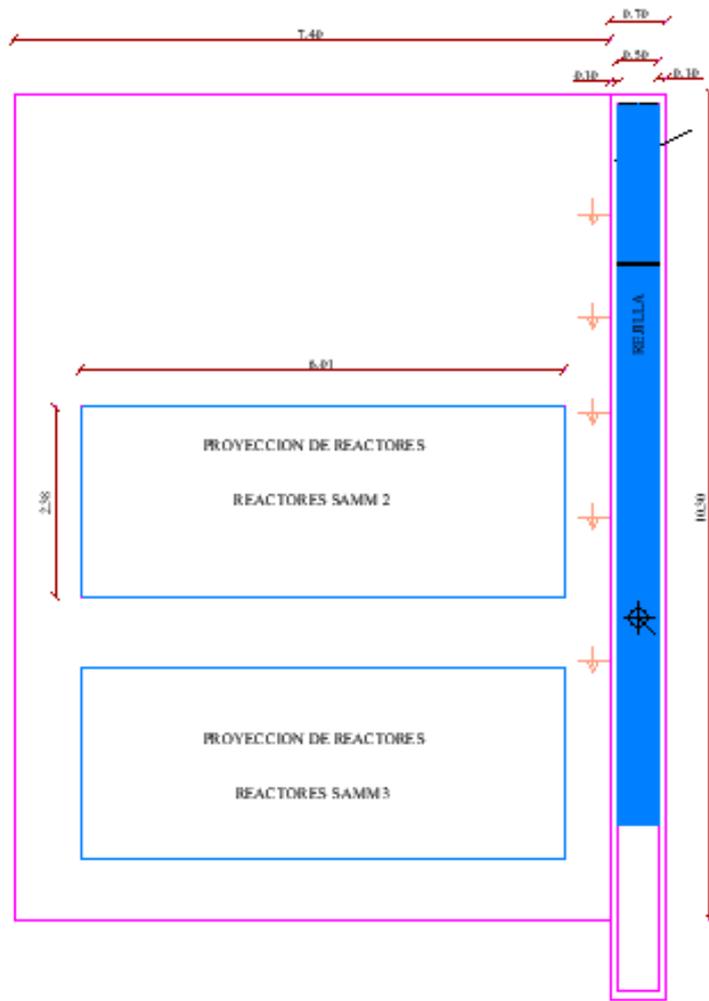


Figura 42. Vista en planta de Reactores de Bafles PTAR
Fuente: El autor

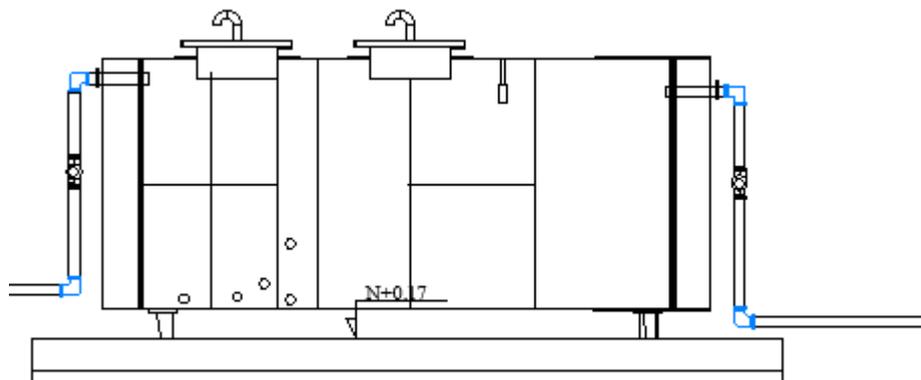


Figura 43. Vista en elevación de Reactores de Bafles PTAR
Fuente El autor

3.2.3.4 Filtro Facultativo Fitopedológico

Zanja excavada en el suelo recubierta de una geomembrana de fibra sintética sobre la superficie natural utilizado en la construcción de carreteras, lagunas de oxidación, piscinas de recolección de lodos entre otros. Se utilizará para la protección e impermeabilización de los suelos debido a su baja permeabilidad.

Tabla 24.

Tabla Dimensiones Filtro Fitopedológico

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
-----------	-------	--------

Largo	11.60	m
Ancho	7.00	m
Altura	1.76	m

Fuente: El autor

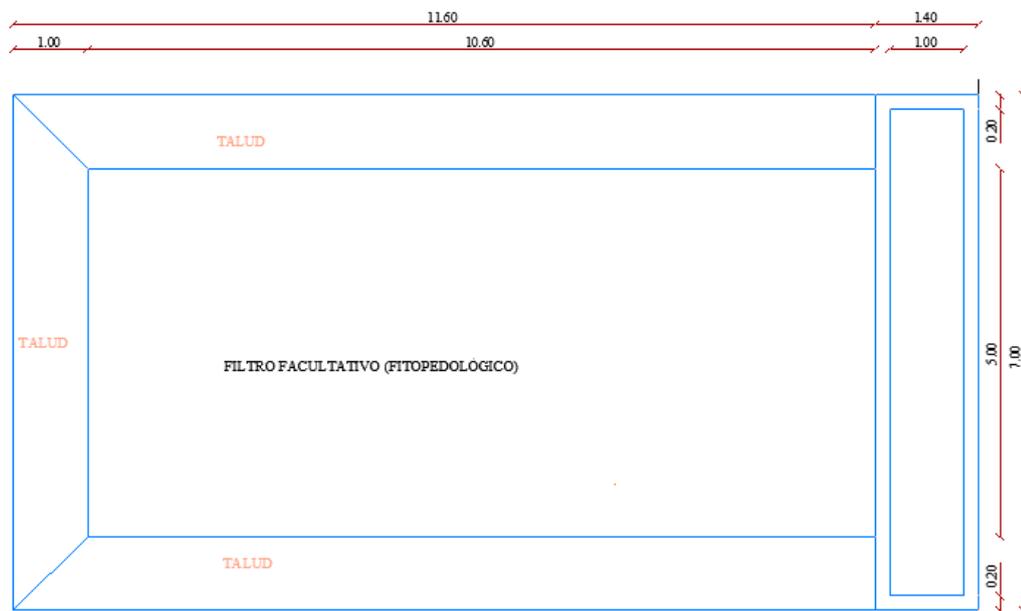


Figura 44.

Vista en planta de Filtro Fitopedológico PTAR

Fuente: El autor

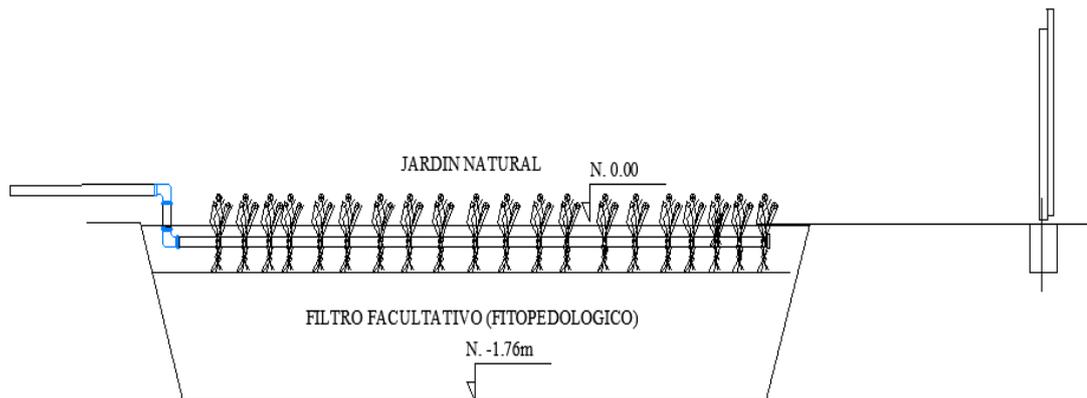


Figura 45.

Vista en elevación de Filtro Fitopedológico

Fuente: El autor

3.2.4. Diagnóstico de funcionamiento de la PTAR

- El tanque de entrada se asume que fue diseñado con doble función como desarenador y sedimentador, de acuerdo al análisis de medición de caudales se determinó el caudal máximo horario es de 4,65 lt/seg, según información de diseño por DIMAPAL el caudal máximo horario fue de 2.5 lt/seg. Por lo tal, el tanque de entrada no cumple con la función para lo que fue construido.
- A partir de ello, las bombas sumergidas en el tanque de equilibrio perdieron funcionalidad y la planta en general dejó de funcionar. El mantenimiento de operación y control en tiempos de retención como limpieza de cada componente no fue llevado con responsabilidad por las autoridades del Gobierno Parroquial de Mulaló o Gobierno Descentralizado del Cantón Latacunga.
- El cálculo del dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua residual a partir del valor de caudal no contempló el caudal de las industrias queseras y florícolas existentes en la parroquia de Mulaló.

3.2.5 Verificación de hipótesis

La planta de tratamiento de agua residual recibe agua para ser tratada de la zona urbana y rural con la finalidad de eliminar o disminuir en gran parte los contaminantes mediante la implementación de componentes. Sin embargo, actualmente la infraestructura se encuentra fuera de funcionamiento por dimensionamiento y capacidad, siendo esto demostrado en la tabla donde los valores de Aceites y grasas, DQO, DBO5 y Sólidos Suspendidos superan los límites máximo permisibles según el TULSMA, por lo cual se concluye que la PTAR no brinda las condiciones óptimas para tratar el afluente de la parroquia, por consiguiente en el siguiente capítulo se presenta la propuesta de diseño y cálculo de una planta de tratamiento con las condiciones y dimensiones respectivas para un tratamiento con la capacidad requerida, esto con la finalidad de poder brindar un recurso en óptimas características la misma que se implementa para la zona de riego.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio del análisis físico – químico del agua residual se pudo determinar que la mayor parte de parámetros no cumplen con la normativa TULSMA para descargas hacia un cuerpo de agua dulce, lo que indica que la planta de tratamiento no está funcionando de forma óptima. Por medio de un análisis en campo se pudo visualizar que las estructuras de la PTAR no han tenido un mantenimiento adecuado y por esta razón existe la presencia de vegetación y con ello un estancamiento de agua residual. Previo diálogo con el Sr Nelson Ávila presidente de la parroquia, se pudo conocer la inexistencia de una memoria de cálculo, planos, y un manual de operación de la PTAR, por lo que conjuntamente se ha tomado la decisión del diseño de una nueva planta de tratamiento que reemplace a la anterior con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Para evitar que ingresen partículas de un tamaño considerable o basura a la PTAR se consideró implementar un área de cribado, un desarenador para las partículas pequeñas, una trampa de grasas para tratar el alto índice de grasas que se presentó en el ensayo de agua residual, un tanque séptico y un filtro anaerobio de flujo ascendente para disminuir el DBO5 y DQO del agua residual, un patio o lecho de secado de lodos para los residuos de los procesos anteriores. Esto garantizará un alto porcentaje de remoción de contaminantes del agua residual de acuerdo al estudio de remoción teórica de Metcalf y Eddy. Por consiguiente, tenemos el siguiente tren de tratamiento:

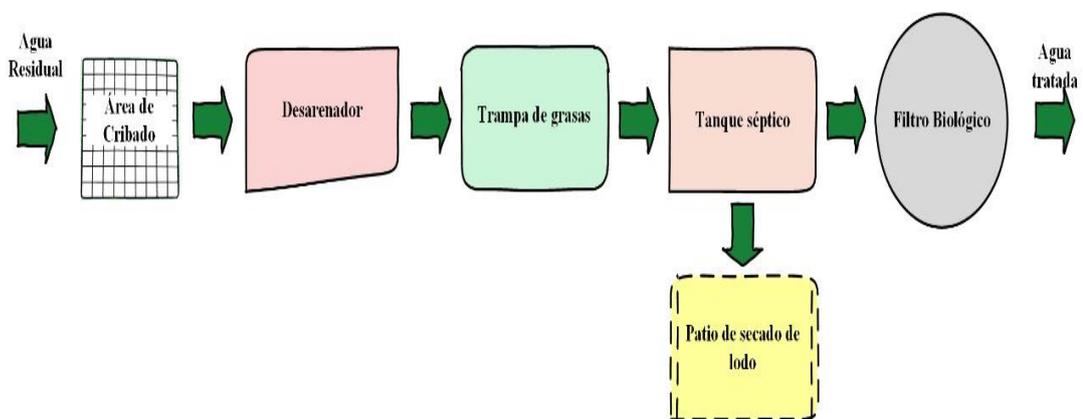


Figura 46.

Tren de tratamiento propuesto para la PTAR Mulaló

4.1. Diseño de una nueva planta de tratamiento

Para realizar el diseño de la nueva planta de tratamiento se debe considerar la población futura para que cada proceso de tratamiento pueda asegurar de forma óptima la eliminación de los contaminantes presentes en el agua residual y puedan soportar los caudales que se podrían presentar a futuro. Para ello se ha tomado un periodo de diseño de 20 años, tiempo que asegura que se pueda realizar estudios más adelante y con ello la construcción de ampliaciones en el caso de ser necesario.

4.2. Determinación de la población futura

De acuerdo al Sr Nelson Ávila presidente de la parroquia Mulaló se pudo conocer que actualmente en el año 2022 existe una población de aproximadamente 1200 habitantes en el sector centro, por esta razón en base al código ecuatoriano de la construcción de obras sanitarias CO 10.07-601 manifiesta en su numeral 4.1.3.1 que para poblaciones mayores a 1000 habitantes se pueden utilizar tres métodos para proyectar la población futura de los cuales se ha tomado en consideración el método aritmético, geométrico y exponencial.

Al no poseer un registro censal del sector centro de la parroquia Mulaló se ha tomado los datos censales de la parroquia en si para determinar la tasa de crecimiento respectiva.

Tabla 25.

Población censal de la parroquia Mulaló

AÑO CENSAL	POBLACIÓN (Habitantes)
1990	6196
2001	7360
2010	8095

Fuente: <http://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos>

Como se mencionó anteriormente con los datos censales de la parroquia de Mulaló se procede a determinar la tasa de crecimiento con el uso de los tres métodos conocidos. A continuación, se va a representar una tabla de crecimiento y un diagrama con su respectiva línea de tendencia para cada uno de los métodos.

Tabla 26.

Tasa de crecimiento poblacional usando el método aritmético

MÉTODO ARITMÉTICO			
AÑO CENSAL	POBLACIÓN	t	r
1990	6196		
		11	1,71%
2001	7360		
		9	1,11%
2010	8095		
		PROMEDIO	1,41%

Fuente: El autor

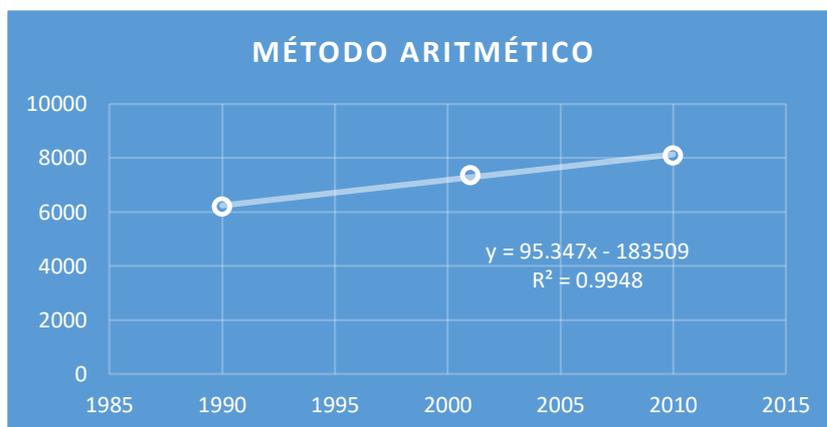


Figura 47.

Línea de tendencia usando el método aritmético

Fuente: El autor

Tabla 27.

Tasa de crecimiento poblacional usando el método geométrico

MÉTODO GEOMÉTRICO			
AÑO CENSAL	POBLACIÓN	t	r
1990	6196		
		11	1,58%
2001	7360		
		9	1,06%
2010	8095		
		PROMEDIO	1,32%

Fuente: El autor

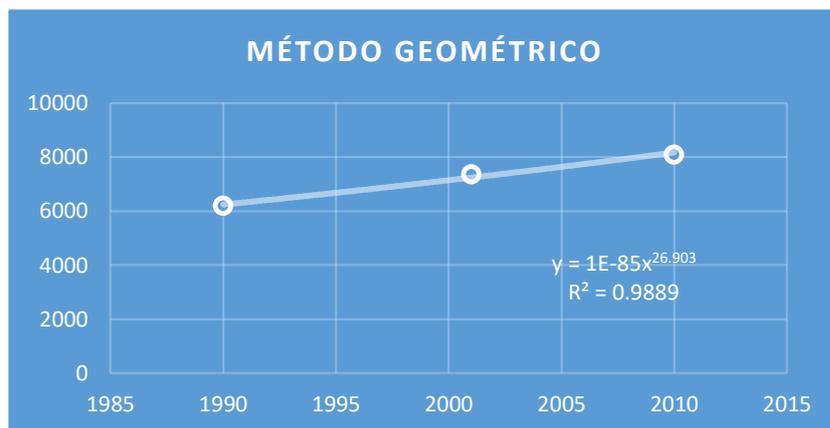


Figura 48.

Línea de tendencia usando el método geométrico

Fuente: El autor

Tabla 28.

Tasa de crecimiento poblacional usando el método geométrico

MÉTODO EXPONENCIAL			
AÑO CENSAL	POBLACIÓN	t	r
1990	6196		
		11	1,16%
2001	7360		
		9	0,61%
2010	8095		
		PROMEDIO	0,89%

Fuente: El autor

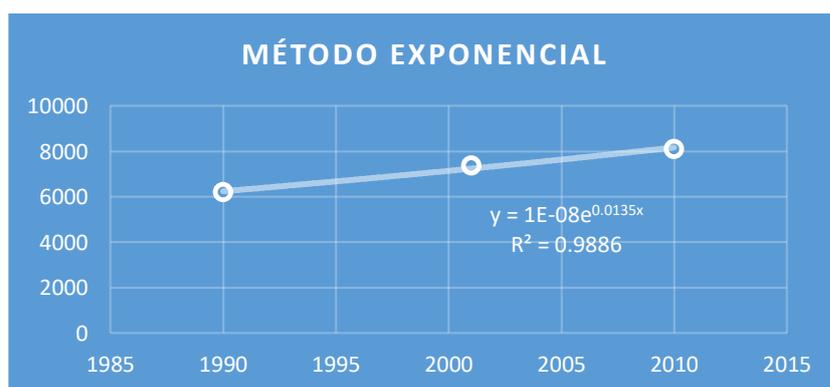


Figura 49.

Línea de tendencia usando el método exponencial

De acuerdo a los diagramas anteriores se puede decir que la línea entre la población y los años censales tiende a ser lineal cuyo método con el que mejor se acopla es el aritmético, también se puede observar que el valor de R^2 con el método aritmético se obtuvo un valor más cercano a 1.

Tomando en consideración lo anterior mencionado se tiene una tasa de crecimiento poblacional del 1.41% esto de acuerdo a la tabla 26.

Previo a charla con el presidente de la parroquia de Mulaló se conoció que la dotación de agua potable del sector centro de la misma es de 80 lt/hab*día. Con estos datos se procede al cálculo de la población futura.

DATOS

P_a	Población actual	1200	hab
d	Dotación de agua potable	80	lt/hab*día
r	Tasa de crecimiento poblacional	1.41	%
n	Periodo de diseño PTAR	20	años

4.2.1. Población futura (hab)

$$P_f = P_a * (1 + r(n))$$

$$P_f = 1200 \text{ hab} * (1 + 1.41\% * (20))$$

$$P_f = 1538.40 \text{ hab} \rightarrow 1538 \text{ hab}$$

4.2.2. Caudal medio diario futuro (lt/seg)

$$Q_{mdf} = \frac{d * P_f}{86400 \text{ s}}$$

$$Q_{mdf} = \frac{80 \frac{\text{lt}}{\text{hab} * \text{día}} * 1538 \text{ hab}}{86400 \text{ seg/día}}$$

$$Q_{mdf} = 1.42 \text{ lt/seg}$$

4.2.3. Caudal medio diario sanitario futuro (lt/seg)

De acuerdo con la norma RAS2000 en su título D se tiene que el caudal medio diario sanitario es un valor de pérdida de agua que generalmente se usa en diferentes

actividades sean estas domésticas, comerciales o institucionales. Este valor depende de un coeficiente de retorno que tiene un intervalo del 60 al 80 por ciento. Para este cálculo se optó por utilizar el valor promedio es decir el 70 %.

$$Q_{mdsf} = C * Q_{md}$$

$$Q_{mdsf} = 0.70 * 1.42 \text{ lt/s}$$

$$Q_{mdsf} = 0.99 \text{ lt/s}$$

4.2.4. Factor de Mayoración

De acuerdo a la norma RAS 2000 en su título D menciona que el cálculo del factor de mayoración depende de una ecuación que varía de acuerdo al número de habitantes, para el caso de poblaciones mayores a 1000 habitantes se tiene:

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + Pf^{0.5})}$$

$$F = 1 + \frac{14}{(4 + (1.538)^{0.5})}$$

$$F = 3.67$$

El factor de mayoración debe cumplir con la siguiente relación para poder ser utilizado.

$$2 \leq 3.67 \leq 3.80 \quad \text{Cumple}$$

4.2.5. Caudal máximo horario sanitario futuro (lt/seg)

$$Q_{mhsf} = F * Q_{mds}$$

$$Q_{mhsf} = 3.67 * 0.99 \frac{\text{lt}}{\text{seg}}$$

$$Q_{mhsf} = 3.63 \text{ lt/seg}$$

4.2.6 Caudal conexiones erradas y caudal de infiltración (lt/seg)

De acuerdo a la norma CO 10.07 – 601 del código ecuatoriano de la construcción de obras sanitarias se debe multiplicar al caudal antes calculado por un factor de seguridad del 10% el mismo que representa el caudal de infiltración y de conexiones erradas que pueden existir en la tubería.

$$Q_{e+i} = F * Q_{mhsf}$$

$$Q_{e+i} = 10\% * 3.63 \text{ lt/seg}$$

$$Q_{e+i} = 0.363 \text{ lt/seg}$$

4.2.7. Caudal de diseño (lt/seg)

$$Q_d = Q_{mhsf} + Q_{e+i}$$

$$Q_d = 3.63 \text{ lt/seg} + 0.363 \text{ lt/seg}$$

$$Q_d = 3.99 \text{ lt/seg} \rightarrow 4.00 \text{ lt/seg}$$

Como se puede observar el caudal de diseño futuro calculado es menor al máximo horario presentado en la medición de caudales del punto 2.2.1.2.1 donde se obtuvo un caudal máximo de 4.65 lt/seg del día martes en el rango de 13:00 a 14:00, esto se debe a que actualmente existen empresas lácteas que arrojan sus residuos a la red de alcantarillado de forma ilegal puesto que deberían tener su propia planta de tratamiento. Se espera que las autoridades realicen algún control para evitar el colapso del sistema de alcantarillado y planta de tratamiento debido a estas empresas. Por esta razón hasta que se realice dicho control se tomará para el cálculo de la nueva planta de tratamiento al caudal máximo horario con el fin de que la PTAR abastezca para el caudal existente.

4.3. Tratamiento Preliminar

4.3.1. Diseño canal de llegada propuesto

La PTAR para recibir las aguas residuales necesita de una estructura conocida como canal de llegada, misma que se construye de forma rectangular y de hormigón por ello posee un coeficiente de rugosidad de 0.013 esto de acuerdo a la norma CPE INEN 005 9 – 1.

El diseño se realiza de acuerdo al manual de Depuración Uralita mismo que recomienda un ancho para el canal que debe estar en el rango de $0.30 < x < 0.70$ metros, una pendiente mayor a 0.5 % para que el agua residual posea una velocidad de (0.3 – 0.6) m/seg. Con todo lo anterior antes nombrado se tiene:

DATOS

Q_d	Caudal de diseño	4.65	lt/seg
S	Pendiente del canal	1	%
n	Coefficiente de rugosidad	0.013	
b	Ancho de canal $0.30 < x < 0.70$	0.30	m

<i>bl</i>	Borde libre del canal $\geq 0.3m$	0.3	m
-----------	-----------------------------------	-----	---

4.3.1.1. Cálculo del tirante hidráulico del canal (m)

$$Q_d = \frac{1}{n} * A * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$\left(\frac{Q_d * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^3 = \frac{(b * y)^5}{(b + 2 * y)^2}$$

$$Q_d = \frac{4.65 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} = 0.00465 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\left(\frac{0.00465 \text{ m}^3/\text{seg} * 0.013}{(0.01)^{\frac{1}{2}}} \right)^3 = \frac{(0.30 \text{ m} * y)^5}{(0.30 \text{ m} + 2 * y)^2}$$

$$y = 0.03 \text{ m}$$

4.3.1.2. Cálculo del radio hidráulico (m)

$$Rh = \frac{b * y}{b + 2 * y}$$

$$Rh = \frac{0.30 \text{ m} * 0.03 \text{ m}}{0.30 \text{ m} + (2 * 0.03 \text{ m})}$$

$$Rh = 0.03 \text{ m}$$

4.3.1.3. Cálculo de la velocidad del flujo del canal (m/seg)

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0.013} * (0.03 \text{ m})^{\frac{2}{3}} * (0.01)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.74 \frac{\text{m}}{\text{seg}} \therefore OK$$

4.3.1.4. Cálculo de la altura total del canal(m)

$$h = y + bl$$

$$h = 0.03 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$h = 0.33 \text{ m}$$

Se tomará una altura de 0.35 m por facilidad constructiva.

Tabla 29.

Dimensión propuesta del canal de entrada

	Dimensión	Unidad
Largo	1.00	m
Ancho	0.30	m
Altura	0.35	m
Espesor de Paredes	0.15	m
Espesor de Piso	0.10	m

Fuente: El autor

4.3.2. Diseño del área de cribas propuesto

Para el cálculo de las dimensiones del área de cribado se tomó las consideraciones de diseño del manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento CONAGUA 2015, en donde se tiene los siguientes criterios:

DATOS

Q_d	Caudal de diseño	4.65	lt/seg
b	Ancho del canal	0.30	m
h	Tirante hidráulico	0.03	m
bl	Borde libre del canal $\geq 0.3m$	0.30	m
θ	Angulo de inclinación	45	grados
C	Separación entre barras – limpieza manual	0.025	m
d_b	Espesor de las barras	0.02	m
g	Gravedad	9.81	m/seg ²

4.3.2.1. Cálculo del área del canal de entrada (m)

$$A = b * h$$

$$A = 0.30 \text{ m} * 0.03 \text{ m}$$

$$A = 0.009 \text{ m}^2$$

4.3.2.2. Cálculo de la velocidad de ingreso del agua (m/seg)

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

$$Q_d = \frac{4.65 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} = 0.00465 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V = \frac{0.00465 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.009 \text{ m}^2}$$

$$V = 0.52 \text{ m/seg}$$

4.3.2.3. Cálculo de la longitud de la rejilla (m)

$$L = \frac{h + bl}{\text{sen}(\theta)}$$

$$L = \frac{0.03 \text{ m} + 0.30 \text{ m}}{\text{sen}(45^\circ)}$$

$$L = 0.47 \text{ m} \approx 0.50 \text{ m}$$

Se toma una altura de 0.50 m por facilidad constructiva.

4.3.2.4. Cálculo del número de barras

$$n = \frac{b + C}{C + d_b}$$

$$n = \frac{0.30 \text{ m} + 0.025 \text{ m}}{0.025 \text{ m} + 0.02 \text{ m}}$$

$$n = 7.22 \text{ m} \therefore 7 \text{ espacios}$$

$$N\# \text{ de barras} = n - 1$$

$$N\# \text{ de barras} = 7 - 1$$

$$N\# \text{ de barras} = 6$$

4.3.2.5. Cálculo de la velocidad ascendente (m/seg)

$$V_a = \frac{Q_d}{(b + d_b) * h}$$

$$V_a = \frac{0.00465 \text{ m}^3/\text{seg}}{(0.30 \text{ m} + 0.02 \text{ m}) * 0.03 \text{ m}}$$

$$V_a = 0.48 \text{ m/seg}$$

4.3.2.6. Cálculo del área de las rejas (m²)

$$A_r = N\# \text{ de barras} * d_b * h$$

$$A_r = 6 * 0.02 \text{ m} * 0.03 \text{ m}$$

$$A_r = 0.0036 \text{ m}^2$$

4.3.2.7. Cálculo de la velocidad del flujo a través de las rejas (m/seg)

$$V_r = \frac{Q_d}{A - A_r}$$

$$V_r = \frac{0.00465 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.009 \text{ m}^2 - 0.0036 \text{ m}^2}$$

$$V_r = 0.86 \text{ m/seg}$$

4.3.2.8. Cálculo de la pérdida hidráulica (m)

$$h_L = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{V_r^2 - V_a^2}{2 * g} \right)$$

$$h_L = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{(0.86 \text{ m/seg})^2 - (0.48 \text{ m/seg})^2}{2 * 9.81 \text{ m/seg}^2} \right)$$

$$h_L = 0.037 \text{ m} \approx 37 \text{ mm}$$

Tabla 30.

Tabla Dimensión propuesta del área de cribas

	Dimensión	Unidad
Longitud de la rejilla	0.50	m
Diámetro de barra	0.02	m
Número de barras	6	
Ángulo de inclinación	45	°
Separación de barras	0.025	m
Número de espacios	7	

Fuente: El autor

4.3.3. Diseño del desarenador propuesto

Para el diseño del desarenador se ha tomado los criterios que nos presenta el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento colombiano conocido por

sus siglas como RAS2000 en su título B guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores donde se tiene los siguientes parámetros para su cálculo respectivo.

DATOS

Q_d	Caudal de diseño	4.65	lt/seg
p_s	Densidad de la arena	2.65	gr/cm ³
p	Densidad del agua	1	gr/cm ³
d_s	Diámetro de las partículas de arena	0.2	mm
g	Aceleración de la gravedad	980	cm/seg ²
T	Temperatura del agua	15	°C
C	Separación entre barras – limpieza manual	0.025	m
d_b	Espesor de las barras	0.02	m

4.3.3.1. Cálculo de la velocidad cinemática del agua

$$v = \frac{0.436}{T + 23.3}$$

$$v = \frac{0.436}{15 + 23.3}$$

$$v = 0.011384$$

4.3.3.2. Cálculo de la velocidad de sedimentación (m/seg)

Se utiliza la ecuación de Stokes.

$$v_s = \frac{(p_s - p) * d_s^2 * g}{18 * v}$$

$$v_s = \frac{(2.65 - 1) \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}\right) * (0.02\text{cm})^2 * 980\text{cm/seg}^2}{18 * 0.011384\text{cm}^2/\text{seg}}$$

$$v_s = 3.16 \text{ cm/seg}$$

Para validar la velocidad de sedimentación calculada por medio de la ecuación de Stokes se debe comprobar que el número de Reynolds sea menor o igual a 1. Si esto no se cumple se debe realizar un reajuste calculando el coeficiente de arrastre.

$$Re = \frac{v_s * d}{v}$$

$$Re = \frac{3.16 \text{ cm/seg} * 0.02\text{cm}}{0.011384 \text{ cm}^2/\text{seg}}$$

$$Re = 5.55$$

Como se puede observar en el cálculo anterior el número de Reynolds es mayor a 1, por lo tanto, el flujo de la partícula se encuentra en la zona de Allen. Se procede a calcular el coeficiente de arrastre:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

$$C_D = \frac{24}{5.55} + \frac{3}{\sqrt{5.55}} + 0.34$$

$$C_D = 5.94$$

De acuerdo a la ley de Allen se tiene la siguiente ecuación para el cálculo de la velocidad de sedimentación:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * (p_s - 1) * d}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{980\text{cm/seg}^2}{5.94} * (2.65 - 1) * (0.02\text{cm})}$$

$$V_s = 2.69 \text{ cm/seg}$$

4.3.3.3. Cálculo del área requerida del desarenador (m2)

Para el cálculo del área requerida para el desarenador la norma RAS 2000 nos recomienda multiplicar el caudal de diseño por un coeficiente de seguridad que a su vez no debe ser menor al 80%. Se toma un coeficiente del 90% que equivale a 1.90 donde se tiene:

$$v_s = \frac{Qd * \text{coef. seguridad}}{As}$$

$$Qd = \frac{4.65 \text{ lt}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} * \frac{1000000 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = 4650 \text{ cm}^3/\text{seg}$$

$$As = \frac{Qd * coef.seguridad}{v_s}$$

$$As = \frac{4650 \text{ cm}^3/\text{seg} * 1.90}{2.69 \text{ cm}/\text{seg}}$$

$$As = 3284.39 \text{ cm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{10000 \text{ cm}^2} = 0.33 \text{ m}^2$$

4.3.3.4. Cálculo de las secciones del desarenador (m)

De acuerdo a la norma RAS 2000 el largo del desarenador debe ser 4 veces el ancho por lo que se tiene:

$$As = l * a$$

$$l = 4 * a$$

$$As = 4 * a * a$$

$$a = \sqrt{\frac{As}{4}}$$

$$a = \sqrt{\frac{0.33 \text{ m}^2}{4}}$$

$$a = 0.29 \text{ m} \approx 0.30 \text{ m}$$

Es recomendable que el ancho del desarenador sea mayor al del canal de entrada para que las partículas del agua residual tengan mayor área para poder sedimentarse para ello se tomara un ancho de 0.35 m.

$$l = 4 * 0.35 \text{ m}$$

$$l = 1.40 \text{ m} \rightarrow 1.50 \text{ m}$$

Se toma la altura del área de cribado o canal de llegada para que exista continuidad entre las dos estructuras antes del siguiente proceso.

$$h = 0.35 \text{ m}$$

4.3.3.5. Comparación de la velocidad de sedimentación y la velocidad horizontal

Para asegurar que el desarenador funcione de forma óptima la velocidad de sedimentación debe ser mayor a la velocidad horizontal del flujo.

$$V_h = \frac{Qd}{a * l}$$

$$V_h = \frac{4650 \text{ cm}^3/\text{seg}}{35 \text{ cm} * 140 \text{ cm}}$$

$$V_h = 0.95 \text{ cm}/\text{seg}$$

$$V_s > V_h$$

2.69 > 0.95 → Cumple con el criterio de diseño.

Finalmente se debe colocar a 1/3 del largo del desarenador un fondo donde se acumulen los sedimentos el mismo que debe tener un Angulo de inclinación de 12.30°, esto se puede diferenciar en el plano de la propuesta en la parte de anexos.

Tabla 31.

Dimensión propuesta del desarenador

	Dimensión	Unidad
Largo	1.50	m
Ancho	0.35	m
Altura	0.35	m
Ángulo de inclinación	12.30	°
Espesor de Paredes	0.15	m
Espesor de Piso	0.10	m

Fuente: El autor

4.3.4. Diseño de la trampa de grasas

Para el diseño de la trampa de grasas se utilizó los criterios que nos indica la norma de diseño RAS 2000 en su sección 2 del título E, en donde tenemos las siguientes recomendaciones:

DATOS

Q_d	Caudal de diseño	4.65	lt/seg
a	Área de cada litro por segundo (0.25 m ²)	0.25	m ²
B/L	Relación ancho largo (1:4 a 1:18)	1:4	-
v_a	Velocidad ascendente (0.004) m/seg	0.004	m/seg

<i>TRH</i>	Tiempo de retención (2.5 – 3) mín	3	mín
<i>Pr</i>	Profundidad del tanque (>0.80) m	0.8	m
<i>Bl</i>	Borde libre del tanque (>0.20) m	0.30	m

4.3.4.1. Cálculo del volumen de la trampa de grasas (m³)

$$V = Qd * TRH$$

$$Qd = 4.65 \frac{lt}{seg} * \frac{60 seg}{1 mín} = 279 lt/mín$$

$$V = 279 \frac{lt}{mín} * 3 mín$$

$$V = 837 lt \rightarrow 0.84 m^3$$

4.3.4.2. Cálculo del área de la trampa de grasas (m²)

$$A = \frac{Qd}{Va}$$

$$Qd = 4.65 \frac{lt}{seg} * \frac{1 m^3}{1000 lt} = 0.00465 m^3/seg$$

$$A = \frac{0.00465 m^3/seg}{0.004 m/seg}$$

$$A = 1.16 m^2$$

4.3.4.3. Cálculo de las dimensiones de la trampa de grasas (m)

$$A = L * B$$

$$L = 4 * B$$

$$A = 4 * B * B$$

$$B = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

$$B = \sqrt{\frac{1.16 m^2}{4}}$$

$$B = 0.54 m \approx 0.55 m$$

$$L = 4 * 0.55 m$$

$$L = 2.20 m$$

$$H = \frac{V}{B * L}$$

$$H = \frac{0.84 \text{ m}^3}{0.55 \text{ m} * 2.20 \text{ m}}$$

$$H = 0.69 \text{ m}$$

Al ser la altura calculada menor a la altura recomendada por la norma de diseño, por lo tanto, se toma el valor recomendando de 0.80 m.

4.3.4.4. Cálculo de la altura total de la trampa de grasas (m)

$$H_t = H + Bl$$

$$H_t = 0.80 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$H_t = 1.10 \text{ m}$$

Tabla 32.

Dimensión propuesta del desarenador

	Dimensión	Unidad
Largo	2.20	m
Ancho	0.55	m
Altura total	1.10	m
Borde libre	0.30	m
Espesor de Paredes	0.15	m
Espesor de Piso	0.10	m

Fuente: El autor

Para facilidad de limpieza se considera un ancho de 0.90 metros para que el operador pueda realizar las actividades de limpieza sin dificultades, además con el fin de asegurar la máxima remoción de aceites y grasas se ha considerado dividir el tanque de 2.20 metros de largo en dos cámaras de 1.10 m.

4.4. Tratamiento primario

4.4.1. Diseño del tanque séptico propuesto

Para el diseño del tanque séptico se toma las consideraciones que nos presenta la norma colombiana RAS 2000, en donde tenemos lo siguiente:

P_f	Población de diseño	1538	hab
D	Dotación de agua potable	80	lt/hab*día
C_r	Coeficiente de retorno (70 – 80) %	70	%
T	Tiempo de retención (0.5 días)	0.5	días
L_f	Contribución de lodo fresco (1 lt/hab*día)	1	lt/hab*día

4.4.1.1. Cálculo de la contribución de aguas residuales por contribuyente (lt/hab*día)

$$C = D * 70\%$$

$$C = 80 \frac{lt}{hab * día} * 70\%$$

$$C = 56.00 \frac{lt}{hab * día}$$

4.4.1.2. Determinación de la tasa de acumulación de lodos digeridos

De acuerdo a la norma RAS 2000 en su título E, la tasa de acumulación de lodos digeridos (K) es un valor que se asume según la temperatura del ambiente y del intervalo en años de limpieza del tanque séptico. Tomando el intervalo de limpieza mínimo de 1 año y una temperatura promedio de 15°C del sector de estudio, se tiene un valor de K de 65.

4.4.1.3. Cálculo del volumen útil del tanque séptico (m3)

$$V_u = 1000 + P_f * (C * T + K * L_f)$$

$$V_u = 1000 + 1538 \text{ hab} * (56.00 \frac{lt}{hab * día} * 0.50 \text{ días} + 65 * 1 \frac{lt}{hab})$$

$$V_u = 144034 \text{ lt} \rightarrow 144.03 \text{ m}^3 \text{ lt}$$

4.4.1.4. Determinación de la altura del tanque séptico (m)

De acuerdo a la norma RAS 2000 si el valor del volumen útil es mayor de 10 m³ se debe utilizar una altura máxima de 2.80 metros.

4.4.1.5. Cálculo del área superficial del tanque séptico (m²)

$$A = \frac{V}{\text{profundidad util}}$$

$$A = \frac{144.03 \text{ m}^3}{2.80 \text{ m}}$$

$$A = 51.44 \text{ m}^2$$

Para disminuir el área del tanque séptico se lo diseñará con dos fosas en su interior, para ello se dividirá el área del tanque séptico calculada anteriormente.

$$A_f = \frac{A}{2}$$

$$A_f = \frac{51.44 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_f = 25.72 \text{ m}^2$$

4.4.1.6. Cálculo de las dimensiones de cada fosa del tanque séptico (m)

De acuerdo a la norma RAS 2000 la relación largo ancho del tanque séptico debe cumplir con el siguiente intervalo $2 < \frac{L}{B} < 4$ para que funcione de forma óptima. Para este diseño se optó por seleccionar el valor de relación promedio es decir 3, por lo que se tiene lo siguiente.

$$A_f = L * B$$

$$L = 3 * B$$

$$A_f = 3 * B * B$$

$$B = \sqrt{\frac{A_f}{3}}$$

$$B = \sqrt{\frac{25.72 \text{ m}^2}{3}}$$

$$B = 2.93 \text{ m} \rightarrow 3.00 \text{ m}$$

$$L = 3 * 3.00 \text{ m}$$

$$L = 9.00 \text{ m}$$

4.4.1.7. Cálculo de las dimensiones de los compartimientos de cada fosa (m)

$$L_1 = \frac{2}{3} * L$$

$$L_1 = \frac{2}{3} * 9.00 \text{ m}$$

$$L_1 = 6.00 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{1}{3} * L$$

$$L_2 = \frac{1}{3} * 9.00 \text{ m}$$

$$L_2 = 3.00 \text{ m}$$

4.4.1.8. Cálculo de la altura total del tanque séptico (m)

$$H_T = h + \text{borde libre}$$

Se asume un borde libre de 0.30 m.

$$H_T = 2.80 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$H_T = 3.10 \text{ m}$$

Tabla 33.

Dimensión propuesta del tanque séptico

	Dimensión	Unidad
Largo	9.00	m
Ancho	3.00	m
Altura total	3.10	m
Borde libre	0.30	m

Espesor de Paredes	0.20	m
Espesor de Piso	0.15	m

Fuente: El autor

4.4.2. Diseño del patio de secado de lodos

Para el diseño del patio de secado de lodos se tomó las consideraciones y criterios que nos presenta el manual de la Organización Panamericana de la Salud “OPS 2005”. Se utiliza como dato los sólidos en suspensión existentes en el agua residual obtenido en el ensayo de laboratorio de la tabla 18.

En el patio de secado se depositan los lodos que son producidos en el tanque séptico por esta razón su caudal se reduce a la mitad pues la otra mitad se dirige al filtro biológico. Con esta consideración tenemos los siguientes datos:

DATOS

Q_d	Caudal de diseño (mitad del caudal)	2.33	lt/día
SS	Sólidos en suspensión del agua residual	478	mg/lt
P_{lodos}	Densidad de lodos (1.04)	1.04	kg/lt
$\%_{sólidos}$	Porcentaje de sólidos (8-12) %	12	%
T	Temperatura	15	°C
T_d	Tiempo de digestión (55 días)	55	días
H	Altura del patio (0.3 - 0.8)	0.5	m

4.4.2.1. Cálculo de la carga de sólidos que ingresan al sedimentador (kg SS/día)

$$C = Q_d * SS * 0.0864 \text{ kg SS/día}$$

$$C = 2.33 * 478 * 0.0864 \text{ kg SS/día}$$

$$C = 96.23 \text{ kg SS/día}$$

4.4.2.2 Cálculo de la masa de sólidos que conforman los lodos (kg SS/día)

$$M_{cd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$M_{cd} = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 96.23 \text{ kg SS/día}) + (0.5 * 0.3 * 96.23 \text{ kg SS/día})$$

$$M_{cd} = 31.27 \text{ kg SS/día}$$

4.4.2.3. Cálculo del volumen diario de lodos digeridos (lt/día)

$$V_{sd} = \frac{M_{cd}}{P_{lodos} * (\%solidas)}$$
$$V_{sd} = \frac{31.27 \text{ kg/día}}{1.04 \text{ kg/lt} * (12\%)}$$
$$V_{sd} = 250.56 \text{ lt/día}$$

4.4.2.4. Cálculo del volumen de lodos a retirarse del tanque (m3)

$$V_{el} = \frac{V_{sd} * Td}{1000}$$
$$V_{el} = \frac{250.56 \frac{\text{lt}}{\text{día}} * 55 \text{ día}}{1000}$$
$$V_{el} = 13.78 \text{ m3}$$

4.4.2.5. Cálculo del área teórica del patio de secado de lodos (m2)

$$At = \frac{V_{el}}{H}$$
$$At = \frac{13.78 \text{ m3}}{0.5 \text{ m}}$$
$$At = 27.56 \text{ m2}$$

4.4.2.6. Cálculo de las dimensiones del patio de secado de lodos (m)

Para calcular las dimensiones se toma en consideración que el tanque séptico al estar dividido en dos fosas necesitará dos tuberías independientes para cada una de ellas con el fin de que se extraigan los lodos de forma óptima. Por esta razón se necesita que haya un lado del patio de secado de lodos que sea por lo menos el doble que el otro lado.

$$At = L * B$$

$$L = 2 * B$$

$$At = 2 * B * B$$

$$B = \sqrt{\frac{At}{2}}$$

$$B = \sqrt{\frac{27.56 \text{ m}^2}{2}}$$

$$B = 3.71 \text{ m} \approx 3.75 \text{ m}$$

$$L = 2 * 3.75 \text{ m}$$

$$L = 7.50 \text{ m}$$

Tabla 34.

Dimensión propuesta del patio de secado de lodos

	Dimensión	Unidad
Largo	7.50	m
Ancho	3.75	m
Altura útil	0.50	m
Borde libre	0.30	m
Pendiente	10	%
Espesor de pared	0.15	m
Espesor de Piso	0.10	m

Fuente: El autor

4.4.3. Diseño del filtro anaerobio ascendente

Para el diseño del filtro biológico se tomó las consideraciones y criterios que nos presenta el manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (CONAGUA 2015). Al igual que el proceso anterior se utiliza la mitad del caudal de diseño para su cálculo y el valor del DBO del afluente obtenido en el análisis del agua residual.

DATOS

Q_d	Caudal de diseño (mitad del caudal)	2.33	lt/día
S_o	Concentración de DBO_5 en el agua residual	0.810	kg* DBO_5 /m ³
CHS	Carga hidráulica superficial (10 - 15) m ³ /(m ² *días)	12.50	m ³ /(m ² *días)
THR	Tiempo de retención hidráulica (4 – 10) horas	7	horas
b	Altura del borde libre (≥ 0.30) m	0.40	m
d	Altura bajo dren (0.30) m	0.30	m

4.4.3.1. Cálculo del área superficial del filtro biológico (m²)

$$A_f = \frac{Q_d}{CHS}$$

$$Q_d = 2.33 \frac{lt}{seg} * \frac{3600 seg}{1 hora} * \frac{24 hora}{1 día} * \frac{1 m^3}{1000 lt} = 201.31 m^3/día$$

$$A_f = \frac{201.31 m^3/día}{12.50 m^2/(m^2 * día)}$$

$$A_f = 16.10 m^2$$

4.4.3.2. Cálculo del volumen teórico del material filtrante (m³)

$$V_{mf} = THR * Q_d$$

$$THR = 7 horas * \frac{1 día}{24 horas} = 0.29 día$$

$$V_{mf} = 0.29 día * 201.31 m^3/día$$

$$V_{mf} = 58.38 m^3$$

4.4.3.3. Cálculo del diámetro del filtro biológico (m)

$$D_f = \left(\frac{4 * A_f}{\pi} \right)^{1/2}$$
$$D_f = \left(\frac{4 * 16.10 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{1/2}$$
$$D_f = 4.53 \text{ m} \approx 5.00 \text{ m}$$

4.4.3.4. Determinación de la altura del medio filtrante (m)

De acuerdo al Manual CONAGUA 2015 si se utiliza grava como material para el medio filtrante se debe establecer una altura con un intervalo de 0.80 a 3.00 metros. Para este diseño se tomará el valor promedio recomendado es decir de 1.90 metros.

$$h_{mf} = 1.90 \text{ m}$$

4.4.3.5. Cálculo de la altura total del filtro biológico (m)

$$H = h_{mf} + b + h$$
$$H = 1.90 \text{ m} + 0.40 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$
$$H = 2.60 \text{ m}$$

4.4.3.6. Cálculo del volumen total del filtro biológico (m3)

$$V_f = \frac{\pi * D_f^2}{4} * H$$
$$V_f = \frac{\pi * (5.00 \text{ m})^2}{4} * 2.60 \text{ m}$$
$$V_f = \frac{\pi * (5.00 \text{ m})^2}{4} * 2.60 \text{ m}$$
$$V_f = 51.05 \text{ m}^3$$

4.4.3.7. Cálculo de la carga orgánica volumétrica del material filtrante (kg de DBO/(m³*días))

$$COV_t = \frac{Q_d * S_o}{V_{mf}}$$

$$COV_t = \frac{201.31 \frac{m^3}{día} * 0.810 \text{ kg} * DBO5/m^3}{58.38 m^3}$$

$$COV_t = 2.79 \text{ kg de DBO}/m^3 * día$$

4.4.3.8. Cálculo de la eficiencia esperada (%)

$$E = 100[1 - 0.87(THR)^{-0.5}]$$

$$E = 100[1 - 0.87(7.00)^{-0.5}]$$

$$E = 67.12 \% \therefore OK$$

Tabla 35.

Dimensión propuesta del filtro biológico

	Dimensión	Unidad
Diámetro	5.00	m
Altura total	2.60	m
Altura del medio filtrante	1.90	m
Borde libre	0.40	m
Altura bajo dren	0.30	m
Espesor de pared	0.15	m
Espesor de Piso	0.10	m

Fuente: El autor

4.5. Plan de operación y mantenimiento de la PTAR

Para garantizar el buen funcionamiento de la planta a través de los años para la cual será diseñada es necesario que se realice un plan de operación y mantenimiento para cada una de las unidades de tratamiento que se han propuesto como diseño. Para que esto se lleve a cabo se necesita de por lo menos una persona que se encargue de supervisar la planta.

4.5.1. Plan de operación y mantenimiento del canal de ingreso y área de cribado

El agua residual viaja por la red de alcantarillado y en su trayecto existe la posibilidad de que se infiltren materiales flotantes como basura o residuos que pueden afectar el funcionamiento de la PTAR, el área de cribado es construido para retener dichos sólidos, por esta razón el operador debe empezar la inspección de la planta comprobando que no haya demasiados residuos obstaculizando el paso normal del agua residual.

Personal: 1 operador

Frecuencia: 1 vez / 15 días

Actividades:

- Inspección del canal de entrada y el área de cribado
- Retiro de residuos que obstaculicen el paso del agua residual
- Limpieza de las rejillas
- Trasladar los residuos en fundas plásticas a la basura

Herramientas

- Equipo de seguridad

de seguridad:

- Rastrillo
- Pala
- Funda plástica

4.5.2. Plan de operación y mantenimiento para el desarenador

El desarenador por medio de la sedimentación se encarga de retener los sólidos más finos como las arenas, gracias a ello se genera una mayor eficiencia de eliminación de contaminantes en los procesos siguientes. Sin embargo, si existe una acumulación excesiva de los sólidos sedimentados el desarenador podría empezar a fallar, por tal razón es necesario su limpieza continua cada cierto tiempo.

Personal: 1 operador

Frecuencia: 1 vez / 15 días

Actividades:

- Inspección del nivel de sólidos sedimentados
- Retiro de los sedimentos acumulados si superan más de la mitad de la capacidad del desarenador
- Trasladar los residuos en fundas plásticas a la basura

Herramientas

- Equipo de seguridad

de seguridad:

- Pala
- Funda plástica
- Caretila

4.5.3. Plan de operación y mantenimiento para la trampa de grasas

La trampa de grasas tiene como finalidad separar las grasas y aceites presentes en el agua residual los mismos que al ser más livianos se quedan en la superficie generando una capa de grasa conocida como nata. La nata debe ser removida cada cierto tiempo para que la trampa de grasas funcione de forma óptima.

Personal: 1 operador

Frecuencia: 1 vez / 15 días

Actividades:

- Inspección de la altura de las natas

- Retiro de las natas acumuladas si la capa superficial es mayor a 3 cm
- Inspección de sólidos en el fondo de la trampa de grasas
- Retiro de sólidos en el caso de haberlos
- Trasladar los residuos en fundas plásticas a la basura

- Herramientas de seguridad:**
- Equipo de seguridad
 - Pala
 - Funda plástica

4.5.4. Plan de operación y mantenimiento para el tanque séptico

En el tanque séptico los residuos sólidos se separan de su parte líquida y por medio de la gravedad se dirigen al fondo del mismo, estos residuos son conocidos como lodos que posteriormente son depositados en el patio de secado. Al igual que el proceso anterior también se produce en la parte superficial una especie de natas. Se debe realizar una limpieza profunda en el tanque por lo menos una vez al año.

Personal: 1 operador + 1 ayudante

Frecuencia: 1 vez / año

- Actividades:**
- Abrir todas las compuertas para que se ventile el tanque.
 - Inspección de la altura de los lodos y natas por medio de un listón de madera
 - Retiro de las natas que se encuentran en la superficie.
 - Retiro del lodo por medio de un carro cisterna equipado con una bomba de vacío y una manguera
 - Enterrar los lodos en zanjas o como disponga las autoridades respectivas

- Herramientas de seguridad:**
- Equipo de seguridad
 - Listón de madera

- Pala
- Carretilla
- Carro cisterna
- Bomba de vacío
- Manguera

4.5.5. Plan de operación y mantenimiento para el filtro biológico

El filtro biológico tiene la capacidad de retener la materia orgánica y generar una biopelícula de microorganismos que se adhieren a la superficie permitiendo el proceso de degradación anaerobia. En pocas palabras en este proceso se pule el agua residual para poder ser enviada a los cuerpos de agua dulce.

Personal: 1 operador

Frecuencia: 1 vez / 15 días

Actividades:

- Inspección de la capa superficial del filtro
- Retirar vegetación, residuos de basura, hojas que se pueden presentar en la capa superficial.
- Trasladar los residuos en fundas plásticas a la basura
- Si se desea una limpieza más minuciosa se debe limpiar el filtro con agua bajo presión.

Herramientas de seguridad:

- Equipo de seguridad
- Funda plástica
- Manguera de agua

4.5.6. Plan de operación y mantenimiento para el patio de secado de lodos

En el patio de secado de lodos se depositan los lodos producidos en el tanque séptico para que por medio del sol estos se deshidraten y posteriormente puedan ser retirados y usados de la mejor manera.

Personal: 1 operador

Frecuencia: 1 vez / 15 días

Actividades:

- Inspección del patio de secado de lodos
- Distribuir los lodos de forma uniforme para optimizar espacio y para que se puedan secar de mejor forma
- Retirar los lodos si estos han alcanzado una considerable altura
- Realizar una limpieza general del patio de secado
- Colocar los lodos en saquillos para ser usados de la mejor forma.

Herramientas • Equipo de seguridad

de seguridad:

- Pala
- Escoba
- Saquillos

4.6. CONCLUSIONES

- Correspondiendo al levantamiento de información de la planta de tratamiento de aguas residuales, se dio a informar que en el año 2016 se realizó un convenio entre la constructora Toala y el municipio de Latacunga para la construcción de la infraestructura, debido a la socialización en conjunto con el Sr. Nelson Ávila presidente de la junta parroquial y el Ing. Geovanny Córdor director de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado se dio a conocer de la inexistencia de una memoria técnica de la planta y del fallo del funcionamiento a partir del 2020 de la planta de tratamiento.
- De acuerdo al levantamiento de campo y la implementación del método volumétrico se pudo determinar el caudal teórico máximo es de 4.65 l/seg correspondiente al día martes en horario de 13:00 a 14:00 como se puede evidenciar en el resumen de la toma de caudales de descarga de la Tabla 17. Además, mediante la implementación de estadística se determinó el caudal máximo horario sanitario futuro de 3.63 lt/seg el mismo que multiplicado por un factor de seguridad del 10% se definió un caudal de diseño de 4 lt/seg, en relación a los dos caudales obtenidos, se toma en cuenta el caudal de 4.65 lt/seg para el diseño de la propuesta de la PTAR.
- Según la investigación de laboratorio en el que se obtuvo los resultados del análisis físico químico realizado al agua residual de salida de la planta de tratamiento se pudo constatar la relación entre los valores límites máximos por la norma TULSMA 2015 para descargas de agua en cuerpos de agua dulce y valores obtenidos por el laboratorio como se puede evidenciar en la Tabla 20 que los parámetros DQO, DBO5, sólidos suspendidos como aceites y grasas superan los límites establecidos, concluyendo que la planta de tratamiento de aguas residuales no se encuentra en funcionamiento.
- El análisis y verificación de funcionamiento de la planta de tratamiento, se concluye la falta de mantenimiento, erróneo cálculo de capacidad y control de la planta de tratamiento, por el estado actual en el que se pudo evidenciar los componentes que forman la planta de tratamiento.
- Mediante los valores límites establecidos por el TULSMA 2015 y el caudal teórico máximo se planteó el rediseño de la planta de tratamiento como la incorporación del proceso unitario de una trampa de grasas con la finalidad de

repotenciar y mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento en beneficio de los pobladores del sector.

- Al incorporarse un nuevo proceso unitario como es la trampa de grasas y un rediseño general de la planta de tratamiento en acuerdo con la norma RAS 2000 se realizó el cálculo de las secciones del tren de tratamiento propuesto para la PTAR Mulaló como lo muestra la Figura 46 con un periodo de 20 años de vida útil. Siendo este periodo corto se asegura la posibilidad de una rehabilitación o repotenciación de un proceso unitario por parte de las entidades para el funcionamiento óptimo.
- Para asegurar la vida útil, el funcionamiento y prescindir inconvenientes futuros de la planta se elaboró un plan de manejo, operación y mantenimiento de cada uno de los procesos unitarios que conforman la propuesta de la planta de tratamiento para la intervención del agua residual, el mismo que requerirá de personal calificado para llevarse a cabo.

4.7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el personal encargado en la operación de la planta de tratamiento se ha calificado y capacitado para el proceso de mantenimiento, limpieza y control de los procesos unitarios con los debidos equipos de protección personal (EPP).
- Se recomienda llevar registros de operación de la planta de tratamiento los que contenga información referente a caudales de ingreso y salida, parámetros del agua residual, periodos de limpieza y mantenimiento de los procesos unitarios con la finalidad de tener valores para estudios y controles futuros.
- Se recomienda realizar el análisis del agua tratada de salida con la finalidad de conocer el funcionamiento de los procesos unitarios y el cumplimiento de los parámetros de la normativa TULSMA, para llevar un diagnóstico individual y colectivo de la planta de tratamiento.
- Se recomienda a las entidades llevar el control de las descargas hacia cuerpos de aguas dulces de las industrias que formen parte del sector agrícola y ganadero, con la finalidad que no existan conexiones clandestinas hacia la red de alcantarillado e inconvenientes con la planta de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

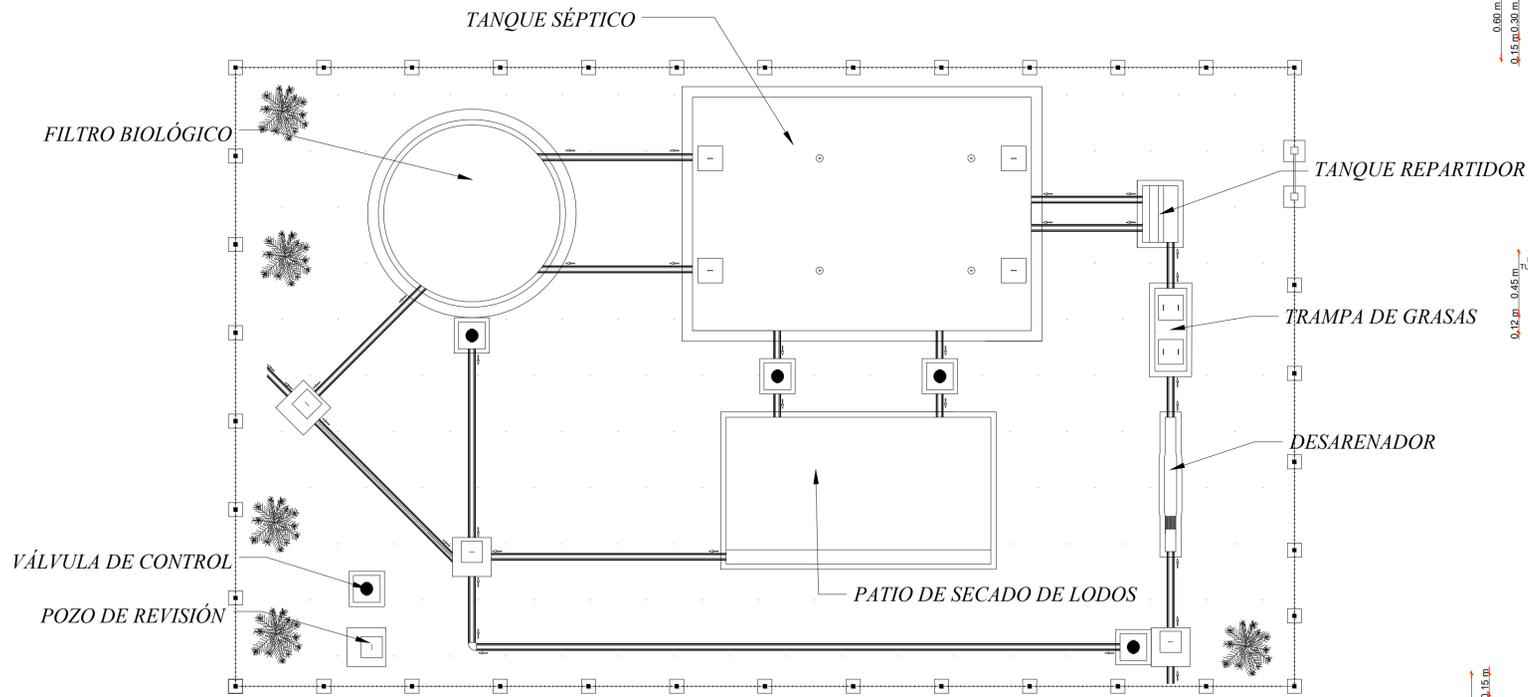
- [1] H. B. Del Pozo, «Ley Orgánica de recursos hídricos , usos y aprovechamiento del agua,» 06 Agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/Ley-de-RH.pdf>. [Último acceso: 10 Abril 2021].
- [2] Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, «Las descargas de aguas residuales,» 07 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/>. [Último acceso: 10 Abril 2021].
- [3] El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), «Estadística de información ambiental,» 03 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuatoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/>. [Último acceso: 10 Abril 2021].
- [4] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, de *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídrico*, París, UNESCO, 2019.
- [5] Empresa de desarrollo económico de cuenca - EDEC, «Diseños de la planta de tratamiento de aguas residuales Chaullayacu,» 17 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www.edec.gob.ec/sites/default/files/memoptoc.pdf>. [Último acceso: 10 Febrero 2021].
- [6] B. Farias de Marquez, «Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales,» 12 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-ptar-modulo-i>. [Último acceso: 02 Febrero 2021].
- [7] C. A. Lazcano Carreño, «Características de las aguas residuales,» de *Bioteología ambiental de aguas y aguas residuales.*, Bogotá, Ecoe Ediciones, 2016, pp. 231-234.

- [8] Metcalf & Eddy, «Tratamiento, vertido y reutilización,» de *Ingeniería de aguas residuales*, España, 1995, pp. 53-103.
- [9] R. Rojas , «Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales,» de *Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales*, 2002.
- [10] E. C. Valdez y A. Vásquez González, «Tratamientos de aguas residuales,» de *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*, México, Fundación ICA, 2003, pp. 95-105.
- [11] Á. Robles Martínez , A. Seco Torrecillas y J. Ferrer Polo, «Procesos biológicos de cultivo,» de *Tratamientos biológicos de aguas residuales*, España, Universidad Politécnica de Valencia, 2018, pp. 166-167.
- [12] R. S. Ramalho, «Petratamientos y tratamientos primarios,» de *Tratamiento de aguas residuales*, Barcelona, Reverté S.A, 1996, pp. 91-92.
- [13] E. Muñoz Camacho , A. Contreras López y M. Molero Meneses , «Procesos de tratamiento primario,» de *Ingeniería del medio ambiente*, Madrid , Uned , 2018.
- [14] Organización Panamericana de la Salud, «Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización,» Lima, 2005, pp. 4-10.
- [15] Comisión Nacional del Agua, «Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente,» de *Manual de Agua Potable , Alcantarillado y Saneamiento*, México , 2015, pp. 1-6.
- [16] A. Sotomayor y G. Power, «Tratamiento de aguas residuales,» de *Tecnologías limpias y medio ambiente en el sector industrial peruano*, Lima, Fondo, 2019, pp. 519-525.
- [17] Metacalf & Eddy, «Introducción al proyecto de plantas,» de *Ingeniería de aguas residuales*, España, 1997, p. 216.
- [18] J. Pérez Olmo y C. Menéndez Gutiérrez, de *Procesos para el tratamiento biológico de agua residuales industriales*, La Habana, Félix Varela, 2007, pp. 3-19.

- [19] B. Pradillo, «Iagua,» 13 Julio 2017. [En línea]. Available:
<https://blogs.worldbank.org/es/voices/como-examinar-la-calidad-del-agua>.
[Último acceso: 10 Junio 2021].
- [20] R. Ramos Olmos, R. Sepúlveda Marqués y F. Villalobos Moreto,
«Contaminantes físicos del agua,» de *El agua en el medio ambiente: muestreo
y análisis*, México , Plaza y Valdés , 2002, pp. 87-88.

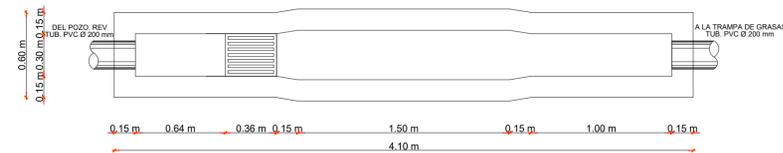
ANEXO

PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO

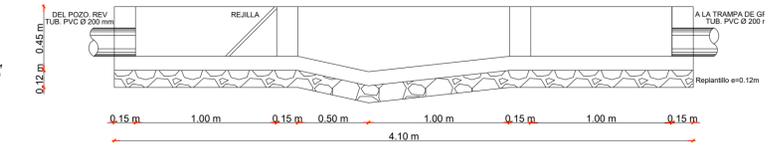


IMPLANTACIÓN PTAR PROPUESTA DEL SECTOR CENTRO DE LA PARROQUIA MULALÓ
ESCALA: 1 : 100

DESARENADOR PROPUESTO

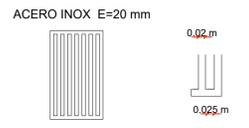


VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1 : 25

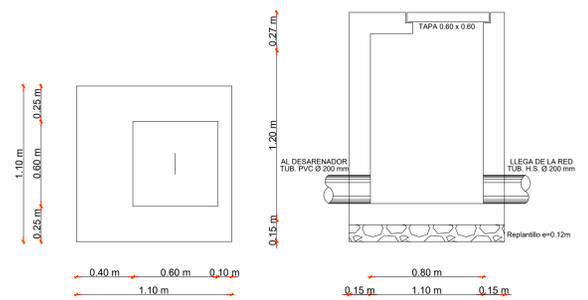


CORTE
ESCALA: 1 : 25

REJILLA

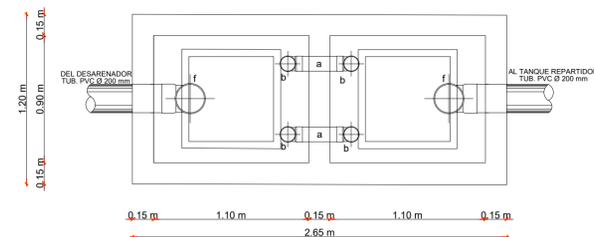


DETALLE REJILLA
ESCALA: 1 : 25

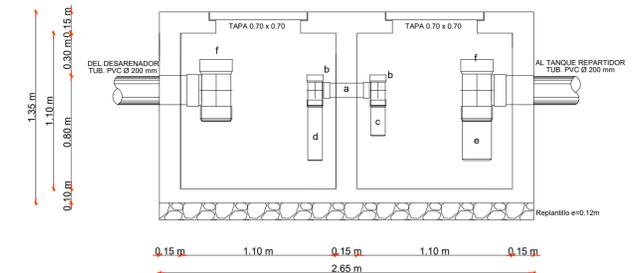


DETALLE POZO DE REVISIÓN
ESCALA: 1 : 25

TRAMPA DE GRASAS PROPUESTA

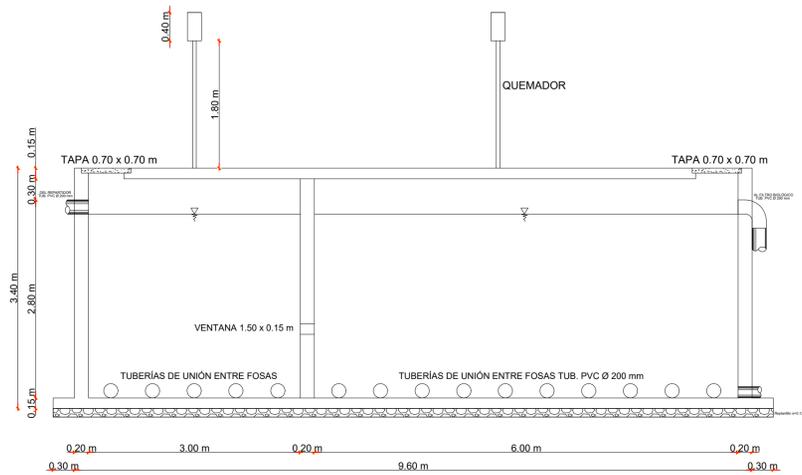


VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1 : 25

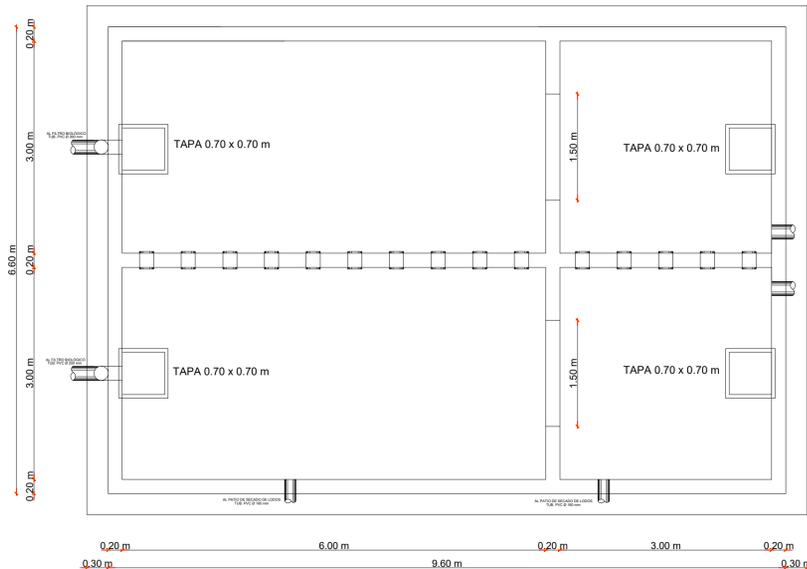


CORTE
ESCALA: 1 : 25

TANQUE SÉPTICO PROPUESTA

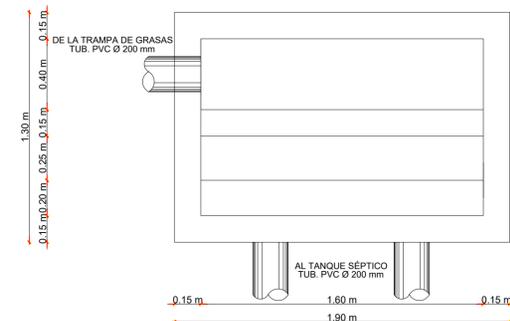


CORTE
ESCALA: 1 : 50

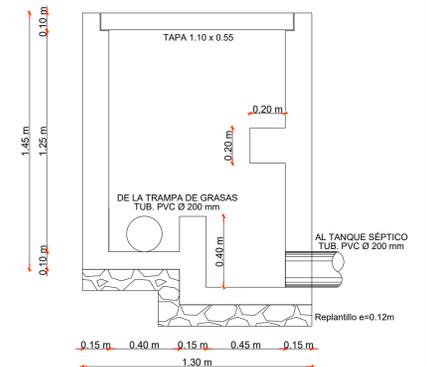


VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1 : 50

TANQUE REPARTIDOR



VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1 : 20

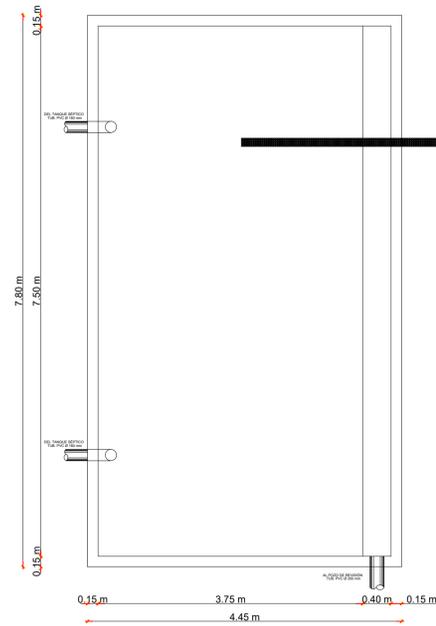


CORTE
ESCALA: 1 : 20



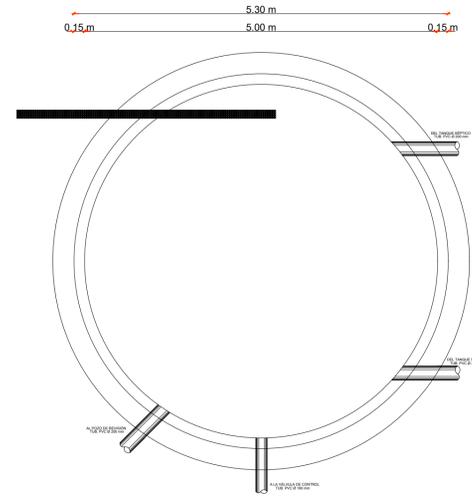
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
PROYECTO:		EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI	
CONTIENE:		PLANOS Y DETALLES PTAR PROPUESTA	ESCALA: INDICADAS
APROBÓ:		ING. MG. GABRIELA PEÑAFIEL AUTORA DE TESIS	FECHA: FEBRERO / 2023
REVISÓ:		ING. GEOVANNY CÓNDR JEFE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO	ELABORÓ: EGO DAVID MENESES U.T.A. - F.I.C.M.
LÁMINA:		01/02	

LECHO DE SECADO DE LODOS

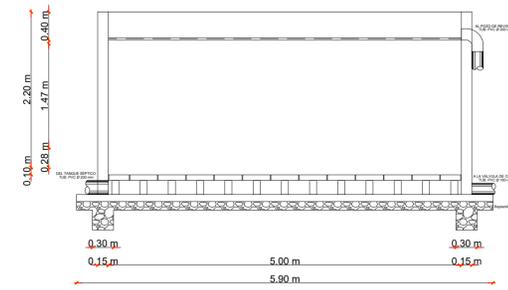


VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1 : 50

FILTRO BIOLÓGICO

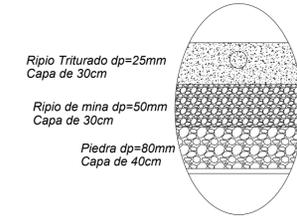


VISTA EN PLANTA
ESCALA: 1 : 50

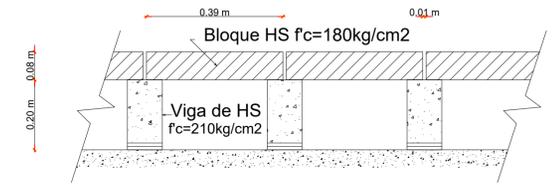


VISTA DE CORTE
ESCALA: 1 : 50

DETALLES

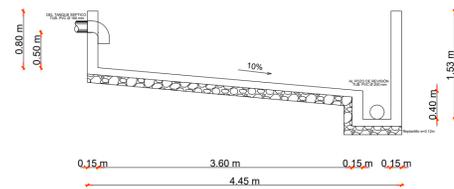


DETALLE MATERIAL FILTRANTE
SIN ESCALA

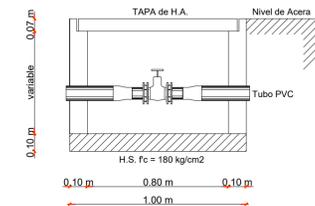


DETALLE DE SUELO FALSO
ESCALA 1:10

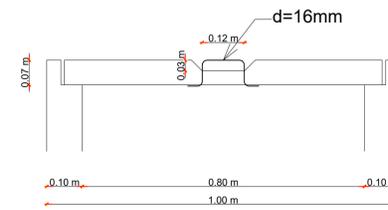
VÁLVULA DE CONTROL



VISTA DE CORTE
ESCALA: 1 : 50

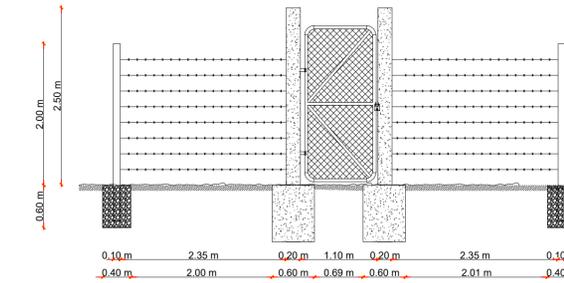


CAJA DE VÁLVULAS
ESCALA: 1 : 20

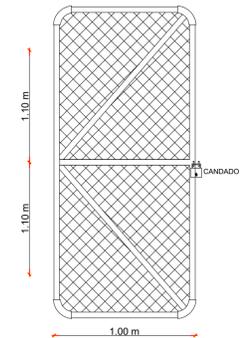


DETALLE DE TAPA
ESCALA: 1 : 10

PUERTA DE MALLA

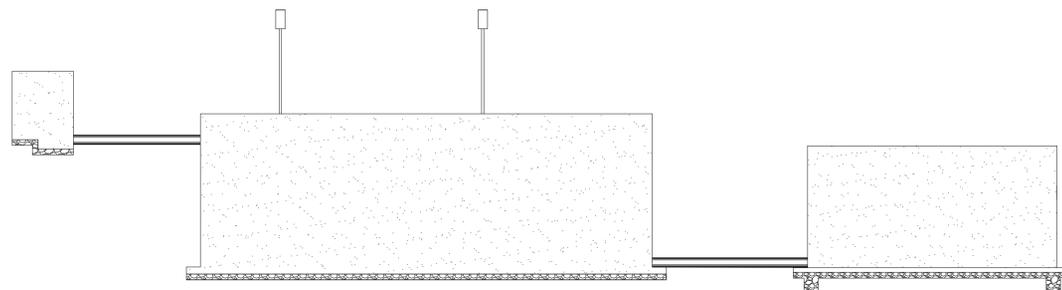


VISTA FRONTAL PUERTA
ESCALA: 1 : 50

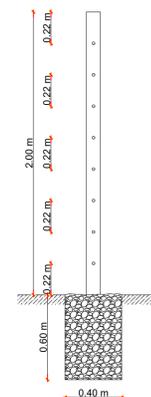


DETALLE DE PUERTA
ESCALA: 1 : 50

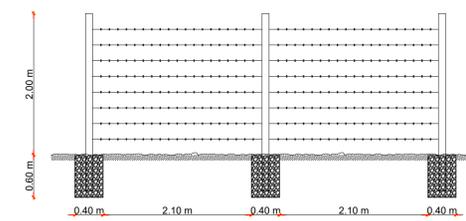
UBICACIÓN DE UNIDADES EN TERRENO



VISTA DE PERFIL DE CORTE
SIN ESCALA



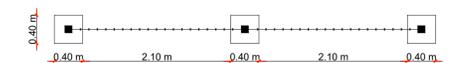
DETALLE COLUMNA
ESCALA: 1 : 25



VISTA FRONTAL CERRAMIENTO
ESCALA: 1 : 25



DETALLE DE TUBERÍA
SIN ESCALA



VISTA EN PLANTA CERRAMIENTO
ESCALA: 1 : 50

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PARROQUIA MULALÓ, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI		ESCALA: INDICADAS FECHA: FEBRERO / 2023	
CONTIENE: PLANOS Y DETALLES PTAR PROPUESTA		ELABORÓ: EGO DAVID MENESES U.T.A. - F.I.C.M.	
APROBÓ: ING. MG. GABRIELA PEÑAFIEL AUTORA DE TESIS		LÁMINA: 02/02	
REVISÓ: ING. GEOVANNY CÓNDROR JEFE AGUA POTABLE Y ALCANT.			