



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA EMPRESA PROCESADORA
AGROINDUSTRIAL “MIS FRUTALES” UBICADA EN LA
PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE
CHIMBORAZO**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: YOMAIRA ESTEFANIA ASQUI USCA

DIRECTOR: Dr. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA, MsC.

Riobamba - Ecuador

2023

© 2023, Yomaira Estefania Asqui Usca

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Yomaira Estefania Asqui Usca, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de junio del 2023



Yomaira Estefania Asqui Usca

Ci: 060518465-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL “MIS FRUTALES” UBICADA EN LA PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por la señorita: **YOMAIRA ESTEFANIA ASQUI USCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Ana Rafaela Pacurucu Reyes, MsC. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-26
Dr. José Gerardo León Chimbolema, MsC. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-06-26
Ing. María Soledad Nuñez Moreno, MsC. ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-06-26

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a las dos personas más importantes de mi vida como lo son mis padres Antonio Asqui y Marjorie Usca, quienes han sido los pilares fundamentales a lo largo de mi vida tanto estudiantil como personal, quienes con gran esfuerzo, amor y dedicación me han brindado su apoyo económico y motivacional en todo momento para poder cumplir con mis objetivos y metas, que gracias a sus consejos me ayudaron a cumplir uno de mis sueños y motivarme para luchar cada día para ser mejor. De la misma manera a mi hermana quien me apoyo y me dio fuerzas para seguir en este camino. Gracias por ser parte de este logro.

Yomaira

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida y permitirme alcanzar mis sueños, a mis padres quienes han sido mi fortaleza e inspiración para seguir adelante, por ese apoyo incondicional en las buenas y malas, gracias a ellos logro terminar una de mis metas porque a pesar de las situaciones siempre me apoyaron y nunca me dieron la espalda.

Agradezco de manera especial a la Ing. Isabel Abarca por darme la apertura en se empresa y permitirme realizar mi trabajo de titulación, por ayudarme con la información necesaria para culminar este proyecto.

Agradezco al Dr. José Gerardo León, director de Tesis por su asesoramiento técnico, por compartir sus conocimientos con paciencia, gracias por sus recomendaciones y su aporte invaluable en este proyecto. Además, a la Ing. Soledad Nuñez que con sus enseñanzas y consejos formo parte de este proceso.

Gracias de todo corazón a cada una de ustedes quienes fueron parte de este proceso.

Yomaira

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Referencias teóricas.....	6
2.2.1. <i>Recurso hídrico</i>	6
2.2.2. <i>Fuentes de agua</i>	7
2.2.3. <i>Calidad de agua</i>	8
2.2.4. <i>Contaminación del agua</i>	8
2.2.5. <i>Medición de caudales</i>	9
2.2.5.1. <i>Método área – velocidad</i>	9
2.2.5.2. <i>Método volumétrico</i>	10
2.2.5.3. <i>Método de vertedero y canaletas</i>	11
2.2.6. <i>Aguas residuales</i>	13
2.2.7. <i>Tipos de aguas residuales</i>	14
2.2.8. <i>Características de las aguas residuales</i>	14
2.2.8.1. <i>Características físicas</i>	15
2.2.8.2. <i>Características químicas</i>	17

2.2.8.3.	<i>Características biológicas</i>	18
2.2.9.	Tratamientos de aguas residuales	19
2.2.9.1.	<i>Pretratamiento</i>	19
2.2.9.2.	<i>Tratamiento Primario</i>	22
2.2.9.3.	<i>Tratamiento Secundario</i>	25
2.2.9.4.	<i>Tratamiento Terciario</i>	29
2.3.	Base legal	30
2.3.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador (2008)</i>	30
2.3.2.	<i>Acuerdo Ministerial 097 A Reforma al Texto Unificado Legislación Secundaria</i> ..	31
2.3.3.	<i>Ley Orgánica de Salud (Registro Oficial Suplemento 423 de 2015)</i>	31
2.3.4.	<i>Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 2176:2013)</i>	32
2.3.5.	<i>Ley de Aguas (Registro Oficial 339 de 2008)</i>	32

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	33
3.1.	Localización geográfica	33
3.2.	Muestreo	33
3.2.1.	<i>Tipo de muestreo</i>	33
3.2.2.	<i>Puntos de muestreo</i>	33
3.2.3.	<i>Recolección de muestra</i>	34
3.2.4.	<i>Volumen de muestra</i>	34
3.2.5.	<i>Frecuencia de muestreo</i>	34
3.2.6.	<i>Conservación y transporte de muestras</i>	35
3.3.	Métodos y técnicas	35
3.3.1.	<i>Métodos</i>	35
3.3.1.1.	<i>Método inductivo</i>	35
3.3.1.2.	<i>Método deductivo</i>	35
3.3.1.3.	<i>Método experimental</i>	35
3.3.2.	<i>Técnicas</i>	36
3.3.2.1.	<i>Medición del caudal volumétrico</i>	36
3.3.2.2.	<i>Caracterización física –químico de las muestras</i>	36
3.4.	Prueba de tratabilidad	38
3.4.1.	<i>Test de jarras</i>	39
3.4.1.1.	<i>Materiales y equipos</i>	40
3.5.	Dimensionamiento de la planta de tratamiento	40
3.5.1.	<i>Período de diseño</i>	40

3.5.2.	Caudal de diseño	41
3.5.2.1.	<i>Caudal de Diseño Proyectado</i>	41
3.5.3.	Pretratamiento	42
3.5.3.1.	<i>Canal de Acercamiento</i>	42
3.5.3.2.	<i>Rejillas</i>	42
3.5.3.3.	<i>Aforador Parshall</i>	44
3.5.4.	Tratamiento Primario	47
3.5.4.1.	<i>Sedimentador primario</i>	47
3.5.4.2.	<i>Coagulación – floculación</i>	49
3.5.5.	Tratamiento Secundario	52
3.5.5.1.	<i>Lodos activados</i>	52
3.5.5.2.	<i>Sedimentador Secundario</i>	56
3.6.	Porcentaje de remoción de contaminantes	58
3.7.	Elaboración de planos	58

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	59
4.1.	Localización de la empresa	59
4.2.	Ubicación de los puntos de muestreo	60
4.3.	Caudales aforados	61
4.3.1.	<i>Semana 1</i>	61
4.3.2.	<i>Semana 2</i>	62
4.3.3.	<i>Semana 3</i>	63
4.3.4.	<i>Semana 4</i>	64
4.3.5.	<i>Caudales promedio</i>	65
4.4.	Determinación de los parámetros físico- químico del agua residual	66
4.5.	Discusión de resultado de análisis	68
4.5.1.	<i>Índice de biodegradabilidad</i>	69
4.6.	Prueba de tratabilidad	70
4.6.1.	<i>Prueba de jarras</i>	70
4.6.1.1.	<i>Caracterización inicial</i>	70
4.6.1.2.	<i>Determinación de coagulantes y floculantes</i>	70
4.6.1.3.	<i>Resultados de la prueba de jarras</i>	71
4.6.1.4.	<i>Determinación de la dosis optima de Policloruro de Aluminio</i>	72
4.6.1.5.	<i>Gradiente de velocidad: prueba de jarras</i>	74
4.7.	Dimensionamiento de la planta de tratamiento	75

4.7.1.	<i>Propuesta del sistema a aplicar</i>	75
4.7.2.	<i>Caudal de diseño</i>	76
4.7.2.1.	<i>Caudal proyectado de diseño</i>	76
4.8.	Dimensionamiento	78
4.8.1.	<i>Canal de acercamiento</i>	78
4.8.2.	<i>Rejillas</i>	79
4.8.3.	Aforador Parshall	82
4.8.4.	<i>Sedimentador primario</i>	86
4.8.5.	<i>Coagulación-Floculación</i>	87
4.8.5.1.	<i>Tanque de coagulación</i>	87
4.8.5.2.	<i>Diseño de las paletas del tanque de coagulación</i>	88
4.8.6.	<i>Lodos Activados</i>	90
4.8.6.1.	<i>Bioreactor</i>	91
4.8.6.2.	<i>Sedimentador secundario</i>	95
4.8.7.	<i>Resultados del dimensionamiento</i>	99
4.8.7.1.	<i>Canal de acercamiento</i>	99
4.8.7.2.	<i>Rejillas</i>	99
4.8.7.3.	<i>Aforador Parshall</i>	100
4.8.7.4.	<i>Sedimentador Primario</i>	101
4.8.7.5.	<i>Coagulación – Floculación</i>	101
4.8.7.6.	<i>Lodos Activados</i>	102
4.9.	Comparación de resultados antes y después del tratamiento	103
4.9.1.	<i>Porcentaje de remoción del sistema de tratamiento</i>	105
	CONCLUSIONES	106
	RECOMENDACIONES	108
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Procesos de pre tratamiento.....	20
Tabla 2-2:	Procesos de tratamiento primario	23
Tabla 3-2:	Tratamientos Secundarios más utilizados	25
Tabla 4-2:	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.....	31
Tabla 1-3:	Métodos utilizados para el análisis en laboratorio	37
Tabla 2-3:	Materiales y equipos.....	40
Tabla 1-4:	Puntos de muestreo de la empresa.....	60
Tabla 2-4:	Medición del caudal en la primera semana en la empresa “Mis Frutales”	61
Tabla 3-4:	Medición del caudal en la segunda semana en la empresa “Mis Frutales”	62
Tabla 4-4:	Medición del caudal en la tercera semana en la empresa “Mis Frutales”	63
Tabla 5-4:	Medición del caudal en la cuarta semana en la empresa “Mis Frutales”.....	64
Tabla 6-4:	Caudal promedio en el periodo de medición en la empresa “Mis Frutales”	65
Tabla 7-4:	Caracterización inicial del agua residual	66
Tabla 8-4:	Índice de biodegradabilidad	69
Tabla 9-4:	Resultados de calidad inicial de agua residual	70
Tabla 10-4:	Caracterización de la muestra de agua residual inicial.....	70
Tabla 11-4:	Parámetros para el coagulante Policloruro de Aluminio	71
Tabla 12-4:	Parámetros para el coagulante Policloruro de Aluminio	71
Tabla 13-4:	Resultados de Prueba de Jarras con 2 coagulantes comerciales	71
Tabla 14-4:	Test de Jarras con la dosificación de Policloruro de Aluminio al 5%	73
Tabla 15-4:	Producción y agua residual de la empresa “Mis Frutales”	77
Tabla 16-4:	Parámetros de diseño para el sistema de rejillas o tamices	79
Tabla 17-4:	Parámetros de diseño del tanque de coagulación	87
Tabla 18-4:	Valores de K para las necesidades de energía de mezclado	90
Tabla 19-4:	Parámetros de Diseño para un sistema de Lodos Activados	90
Tabla 20-4:	Valores de carga superficial recomendados para sedimentación	96
Tabla 21-4:	Valores típicos para el diseño de sedimentadores circulares.....	97
Tabla 22-4:	Resumen dimensiones del canal de acercamiento.....	99
Tabla 23-4:	Resumen dimensiones del sistema de rejillas.....	99
Tabla 24-4:	Resumen dimensiones del aforador Parshall.....	100
Tabla 25-4:	Resumen dimensiones del sedimentador primario	101
Tabla 26-4:	Resumen dimensiones del tanque de coagulación.....	102
Tabla 27-4:	Resumen del sistema de lodos activados.....	102
Tabla 28-4:	Resumen dimensiones del sedimentador secundario.....	103

Tabla 29-4:	Comparación de la caracterización del agua residual.....	104
Tabla 30-4:	Porcentajes de remoción de contaminantes	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Medición de la velocidad en un canal	10
Ilustración 2-2:	Medición de caudal: Método volumétrico.....	11
Ilustración 3-2:	Vertedor rectangular con contracción	12
Ilustración 4-2:	Vertedero rectangular sin contracción.....	12
Ilustración 5-2:	Vertedero de Tipo Triangular.....	12
Ilustración 6-2:	Vertedero trapezoidal	13
Ilustración 7-2:	Rejilla rotativa automática	20
Ilustración 8-2:	Canal Parshall y tipos de medidores de flujo	21
Ilustración 9-2:	Desarenador de flujo horizontal	21
Ilustración 10-2:	Trampa de grasas.....	22
Ilustración 11-2:	Tratamiento primario de aguas residuales.....	24
Ilustración 12-2:	Proceso de filtrado de agua	25
Ilustración 13-2:	Coagulación-Floculación –Sedimentación.....	26
Ilustración 14-2:	Tratamiento secundario de aguas residuales.	27
Ilustración 15-2:	Sistema de aireación por difusores.....	28
Ilustración 16-2:	Depuración de aguas residuales mediante el sistema de lagunaje.....	29
Ilustración 17-2:	Filtración por membrana para purificación de agua.....	30
Ilustración 1-4:	Ubicación de la empresa “Mis Frutales”.....	59
Ilustración 2-4:	Mapa de ubicación de la empresa “Mis Frutales”	60
Ilustración 3-4:	Variación del caudal diario en la primera semana.....	62
Ilustración 4-4:	Variación del caudal diario en la segunda semana.....	63
Ilustración 5-4:	Variación del caudal de la tercera semana	64
Ilustración 6-4:	Variación del caudal en la cuarta semana.	65
Ilustración 7-4:	Variación del caudal promedio de la empresa “Mis Frutales”	66
Ilustración 8-4:	Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio y muestras tratadas finales..	73
Ilustración 9-4:	Resultados de la prueba de jarras con Policloruro de Aluminio 5%	74
Ilustración 10-4:	Sistema de PTARI Propuesto	75
Ilustración 11-4:	Factor de forma de rejillas para β con acero liso.....	80
Ilustración 12-4:	Dimensiones y Capacidad de canales Parshall	82
Ilustración 13-4:	Aforador Parshall y sus dimensiones	101
Ilustración 14-4:	Agua sin Tratar y Agua Tratada de la empresa “Mis Frutales”	103
Ilustración 15-4:	Comparación de la muestra de agua residual sistema de tratamiento	104

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	PUNTOS DE MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRA
ANEXO B:	MEDICIÓN DEL CAUDAL
ANEXO C:	ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL
ANEXO D:	ANÁLISIS DE PRUEBA DE TRATABILIDAD: TEST DE JARRAS
ANEXO E:	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA MUESTRA INICIAL
ANEXO F:	RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA TRATADA
ANEXO G:	PLANO DEL SISTEMA DE REJILLAS
ANEXO H:	PLANO DE CANAL PARSHALL
ANEXO I:	PLANO DE SEDIMENTADOR PRIMARIO
ANEXO J:	PLANO DE TANQUE DE COAGULACIÓN
ANEXO K:	PLANO DE LODOS ACTIVADOS: SISTEMA DE AIREACIÓN
ANEXO L:	PLANO DE LODOS ACTIVADOS: SEDIMENTADOR SECUNDARIO
ANEXO M:	PLANO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

RESUMEN

La empresa procesadora agroindustrial “Mis Frutales” no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, ocasionando la alteración de las propiedades de la misma; las cuales son depositadas directamente al sistema de alcantarillado, por lo tanto, el objetivo del presente proyecto técnico fue realizar un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa. La metodología implementada tuvo una etapa experimental en la cual se determinó el caudal promedio de producción de la empresa por un período de 4 semanas en un horario de 15:00 a 16:00 obteniendo un valor de 32.8 m³/d como caudal de diseño para el dimensionamiento de los componentes del sistema de tratamiento. Para determinar el estado del agua se caracterizó una muestra compuesta, mediante el análisis físico – químicos y microbiológicos desarrollados en el Laboratorio de Calidad de Agua perteneciente a la Facultad de Ciencias, obteniendo como resultados un valor de DBO₅ de 660 mg/L, DQO de 930 mg/L, fosforo de 18.5 mg/L y sulfuros de 128 mg/L, los mismos que incumplen con los valores establecidos en la Tabla 8: Descargas al Sistema de Alcantarillado Público. Se realizó 1 prueba de tratabilidad, mediante el Test de Jarras empleando de Poli cloruro de Aluminio al 5% a una concentración de 90 ppm y con base al índice de biodegradabilidad era importante implementar un tratamiento de tipo biológico. De tal manera se propuso un sistema de tratamiento conformado por un canal de acercamiento, rejillas, aforador Parshall, sedimentador primario rectangular, coagulador de mezcla rápida, y un sistema de lodos activados logrando una remoción de 71% de contaminantes. De acuerdo a los resultados obtenidos se logró dar cumplimiento a la normativa ecuatoriana, por lo cual se concluye que el sistema de tratamiento propuesto es factible para la empresa debido a que permite mejorar la calidad del agua.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <AGUA RESIDUAL>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO>, <SAN LUIS (PARROQUIA)>.



1571-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The agro-industrial processing company "Mis Frutales" does not have a wastewater treatment system, causing the alteration of its properties, which are deposited directly into the sewage system. This technical project aimed to design a wastewater treatment plant for the company. The implemented methodology had an experimental stage in which the average production flow of the company was determined for four weeks from 3:00 p.m. to 4:00 p.m., obtaining a value of 32.8 m³/d as design flow for the dimensioning of the components of the treatment system. To determine the state of the water, a composite sample was characterized through physical-chemical and microbiological analysis carried out in the Water Quality Laboratory belonging to the Faculty of Sciences, obtaining as a result a BOD₅ value of 660 mg/L, COD of 930 mg/L, phosphorus of 18.5 mg/L and sulfides of 128 mg/L, the same ones that do not comply with the values established in Table 8: Discharges to the Public Sewerage System. A test was carried out of treatability through the Jar Test using 5% Aluminum Polychloride at a concentration of 90 ppm, and based on the biodegradability index, it was essential to implement a biological treatment. In this way, a treatment system consisting of an approach channel, grids, Parshall flume, rectangular primary settler, rapid mix coagulator, and an activated sludge system was proposed, removing 71% of contaminants. According to the results obtained, it was possible to comply with the Ecuadorian regulations, for which it is concluded that the proposed treatment system is feasible for the company because it allows to improve the water quality.

Keywords: <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <WASTEWATER>, <WASTEWATER TREATMENT>, <DESIGN OF TREATMENT PLANT>, >SAN LUIS(PARISH)>.



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

INTRODUCCIÓN

El sector agroindustrial dedicado al procesamiento de pulpa de frutas en el país ayuda al crecimiento económico, pero a su vez genera problemas ambientales, dado que la industria es caracterizada por un alto consumo de agua y la generación de volúmenes considerables de residuos sólidos y líquidos, que desde este punto de vista no son tóxicos, pero que muestran elevados valores de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

De acuerdo al SENAGUA 2016, el 90 % de las aguas residuales del país se descargan en las fuentes de aguas dulces, sin algún tipo de tratamiento, lo que ocasiona varios problemas de contaminación y salud; generando de cierta manera un impacto negativo y alteraciones ambientales en flora y fauna.

El gran desarrollo industrial lleva a pensar sobre las diferentes alternativas de mejoramiento constante para garantizar una relación amigable con el ambiente y la empresa, por consiguiente, mitigar los impactos mediante un adecuado diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. (Velasco, et al., 2019) .

Las aguas residuales muestran una gran cantidad de contaminantes que tienen un efecto complejo, por años las mismas han sido tratadas de manera tradicional por métodos convencionales, que a lo largo del tiempo han mostrado ciertas restricciones por el incremento de los caudales a tratar, por lo que es necesario actualmente emplear tecnologías factibles, viables, y de gran eficiencia en los procesos, en el caso de las empresas procesadoras de pulpas de frutas, es importante conocer los diferentes procesos de producción para identificar el contenido de sólidos, materia orgánica y demás que contaminan el agua.

La empresa agroindustrial sanlueña “Mis Frutales” deposita sus aguas residuales al sistema de alcantarillado de la parroquia, sin embargo, no emplean un sistema de tratamiento de sus aguas evacuando una gran concentración de contaminantes al recurso hídrico, no obstante es necesario implementar un tratamiento adecuado para las descargas de aguas residuales consecuencia de la misma actividad producto de aguas de proceso, limpieza, desinfección entre otros, a través del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para disminuir los contaminantes presentes y cumplir con la legislación ambiental.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La empresa procesadora “Mis Frutales” dedicada al procesamiento de pulpa de fruta, al utilizar materia orgánica y máquinas para la producción de pulpa, causan contaminación del agua, aire y suelo, debido a la producción de aguas residuales, residuos sólidos no peligrosos, emisiones gaseosas y emisiones sonoras que causan un impacto ambiental negativo al medio ambiente, por lo cual, (López Ráez, et al., 2021), varias investigaciones se orientan a darle un nuevo uso, es decir, practicar la economía circular para minimizar los impactos ambientales.

La problemática que presenta la empresa está enfocada en el agua residual generada desde el proceso de lavado, desinfección de las frutas y su procesamiento debido a que hacen uso de ciertos químicos que afectan la calidad del agua (Alvarado & Castillo, 2011); y también de los vehículos de carga que son sometidos a sistemas de limpieza que usan detergentes y otros productos, a las descargas se le suma las que proviene de los servicios higiénicos, es necesario recalcar que son dos sistemas individuales que al final se interconectan para ser descargados al alcantarillado público.

Dicha situación causa la alteración de las propiedades físicas químicas principalmente como el pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno que depende del tipo de proceso productivo. (Agudelo, et al., 2022). En la actualidad la empresa no realiza ningún tratamiento de depuración de sus aguas residuales, dado que son dispuestas de manera directa al sistema de alcantarillado.

La empresa “MIS FRUTALES” cuenta con 2 descargas de aguas residuales de manera individual, la primera proviene directamente del proceso de lavado de las frutas donde se da un proceso de integración de químicos para la desinfección de las frutas que son colocadas en una zanja que se encuentra en la parte exterior de la zona de producción, la segunda proviene del sistema de servicios sanitarios y de lavado de furgones de carga que son evacuados directamente al tanque de almacenamiento, conociendo esto, las dos descargas se unen antes de ser evacuadas al sistema de alcantarillado sin ningún tratamiento previo.

1.2. Justificación

Las aguas residuales de una empresa procesadora de pulpa de frutas generalmente cuentan con una elevada carga de residuos orgánicos como cascara de frutas y semillas, (Vargas Corredor & Pérez Pérez, 2018), lo que son generadas por el mismo proceso productivo, que al entrar en contacto con el agua comienzan un proceso de descomposición que llega a generar malos olores que afectan la calidad de vida de las poblaciones cercanas a la empresa.

Los efluentes industriales necesitan una investigación propia para cada tipo de industria con los procesos de tratamiento determinados. Es por eso, que las industrias procesadoras de pulpas de frutas presentan una alta carga de materia orgánica y turbiedad, (Alcarraz Curi & Ibche Mitma, 2010) , las cuales deben de ser tratadas para lograr el reciclaje del y poder usarla en otras actividades siempre asegurándose de la calidad construyendo un sistema sustentable para el ambiente. Las características físico químicas de los efluentes que se recomienda analizar para este tipo de industria es el pH, turbiedad, DBO, DQO, aceites y grasas, sólidos totales, sólidos suspendidos, fosfatos, nitratos y coliformes fecales.

Las aguas del proceso de pelado de fruta tienden a mezclarse con otros efluentes, por lo cual se recomienda que se empleen al principio del tratamiento sistemas de tamices rotatorios o fijos para remover sólidos, de tal forma el porcentaje de remoción encontrada guían en enfocarse en un tratamiento primario. En los procesos de pelado de frutas y despulpado se produce un gran volumen de agua por la desinfección y limpieza, en comparación de los procesos de embalaje para la comercialización. (Cajamarca, et al., 2020)

De tal forma, se conoce que la empresa “Mis Frutales” no posee una planta de tratamiento de aguas residuales, dado que sus aguas son vertidas directamente al sistema de alcantarillado sin un previo tratamiento lo que genera contaminación, daños en las tuberías y de cierta manera genera malos olores que pueden llegar a causar enfermedades.

De esta manera, es necesario analizar las concentraciones de contaminantes presentes tanto orgánicos e inorgánicos a través de caracterización físico-químico de las aguas para determinar el mejor proceso o conjunto de procesos unitarios que se diseñaran para mejorar la calidad del agua, reducir contaminantes y cumplir con la legislación ecuatoriana. Para determinar el tipo de tratamiento que se va a emplear se debe de conocer las zonas donde existe mayor producción de descargas liquidas.

Por este motivo se propone diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para el control del agua tratada empleando la legislación ambiental vigente Acuerdo Ministerial N ° 097 A reformese el Texto Unificado de Legislación Secundaria publicado el 04 de noviembre del 2015, el proyecto descrito está enfocado en el Libro VI, Anexo 1, referente a la Norma de Calidad Ambiental y de las descargas de Efluentes de Recurso Agua, Tabla 8. Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento de agua residual para la empresa procesadora agroindustrial “Mis Frutales” de la parroquia de San Luis, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física, químico y microbiológico de las muestras de agua residual con la finalidad de dar cumplimiento al Acuerdo 097 A basado en los límites de descarga al alcantarillado público.
- Identificar las variables de diseño más óptimas en la planta de tratamiento de agua residual a través de los diferentes métodos de tratabilidad para la selección de la alternativa de diseño viable y factible.
- Desarrollar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de los componentes que integran planta de tratamiento de agua residual para la empresa “Mis Frutales” y validar el diseño.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Desde el año 2006 en la parroquia rural de San Luis comienza sus actividades la empresa procesadora agroindustrial “Mis Frutales”, dedicada a la elaboración de pulpas de fruta 100% natural que por los mismos procesos productivos generan residuos orgánicos e inorgánicos que afectan la calidad del agua que son descargados al sistema de alcantarillado de la parroquia. (Alvarez, 2019). Su producción se basa en la elaboración de pulpas de frutas en base a 17 sabores como: coco, durazno, frutilla, guanábana, guayaba, mango, manzana, maracuyá, papaya, piña, tamarindo, tomate, limón, naranja, taxo, y mora.

Las empresas procesadoras de pulpa de fruta, al utilizar materia orgánica y máquinas para la producción de pulpa, causan contaminación del agua, aire y suelo, debido a la generación de efluentes líquidos, residuos sólidos no peligrosos, emisión de gases a la atmósfera y emisiones de ruido, causando efectos negativos al medio ambiente, por lo cual, (López Ráez, et al., 2021), varias investigaciones se orientan a darle un nuevo uso, es decir, practicar la economía circular para minimizar los impactos ambientales.

Esta situación ambiental es ocasionada en gran medida por el crecimiento de las pequeñas comunidades y al aumento de las empresas, así como también por la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales que son consideradas como una alternativa de procesos de tratamiento sustentables y sostenibles.

Se ha desarrollado diferentes tecnologías sofisticadas y eficientes para los diferentes tipos de tratamiento de aguas residuales, pero exigen un alto consumo energético, mano de obra calificada, costos de construcción y mantenimiento elevados, considerándose como una de las limitaciones principales al momento de emplear estos sistemas. (Zamora, et al., 2019). Una nueva iniciativa son los ecos tecnologías que conlleva un bajo consumo de energía y de costos económicos viables para que los pequeños empresarios empleen un tratamiento de aguas residuales.

En el contexto agroindustrial, se necesita plantas de tratamiento de bajo costo de instalación y de fácil manejo para la remoción de contaminantes y patógeno; cabe mencionar que la mayor parte de micro o pequeñas empresas no cuentan con un desagüe correcto del agua residual que generan durante sus procesos, de tal forma no cumplen legalmente con sus obligaciones ambientales.

Las aguas industriales son generadas producto de actividades domésticas e industriales, además de instituciones y locales comerciales las cuales pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual se generan o en un sistema de red de tuberías hasta una planta de tratamiento municipal, considerando que al desarrollarla dentro de la empresa los beneficiarios serán únicamente los propietarios de la misma, al contrario que si el sistema de tratamiento se empleara de manera general se dará beneficio a la sociedad. Es importante recordar que el agua residual debe ser recolectada y tratada. (Santamaria, et al., 2018)

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Recurso hídrico

Los recursos hídricos del Ecuador ocupan un volumen de 376 Km³. En el 2010, el consumo de agua para fines domésticos fue de 1.48 Km³ equivalente a un 9.4%, para actividades agrícolas un volumen de 13.05 Km³ que representa 82.6 % y 1.27 Km³ usado para la producción industrial y otros, que representan cerca del 8.0% del consumo total, de tal manera el consumo de agua en el país hace 13 años represento 15.8 Km³ (Yáñez, et al., 2017)

De tal manera se define a los recursos hídricos como los depósitos e insumos de agua dulce que están potencialmente disponibles en varios estados físicos y que los humanos pueden utilizar para satisfacer sus necesidades; considerados como cuerpos de agua presentes en la Tierra, desde los mismos océanos, ríos, lagos, arroyos y lagunas. Este recurso es esencial para la existencia de la vida, el desarrollo y el medio ambiente por lo cual deben de conservarse y utilizarse de manera sabia y racional.

El agua es un recurso natural renovable y vulnerable con importantes funciones económicas, sociales y ambientales. Esta presenta una serie de características y propiedades especiales que marca la diferencia y excepcionalísimo respecto a la mayoría de los demás recursos naturales. (Sierra Zamora, et al., 2022)

El agua está asociada a diferentes usos con propiedades muy diferentes y diferentes prioridades de satisfacción. Debido a que estos usos compiten entre sí, se deben asegurar consideraciones éticas en la gestión de recursos para que entren en juego diferentes valores, derechos y prioridades. Los recursos hídricos son de gran importancia en el desarrollo de la humanidad dado que el hombre tiene derecho a aprovechar las aguas superficiales en varias actividades como: abastecimiento doméstico, agricultura, riego, silvicultura, generación de energía, acuicultura y uso industrial para satisfacer las necesidades de los colectivos.

2.2.2. Fuentes de agua

Una fuente de agua hace referencia al origen de la misma, las cuales deben de ser suficientes y permanentes para cubrir la demanda de agua en la población a través de los años. Constituye un elemento primordial y condicionante para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable.

- **Agua lluvia**

Este sistema de abastecimiento se lo utiliza cuando no es posible captar agua de fuentes superficiales o subterráneas, considerando que se debe de tener un régimen de lluvias constantes, para lo cual se utilizan los techos de las infraestructuras.

- **Agua superficial**

Las aguas superficiales no son tan deseables como fuentes de abastecimiento especialmente cuando existen poblados o el desarrollo de la ganadería lo que ocasiona contaminación aguas arriba, para usar este tipo de fuente es necesario conocer información detallada y estudios realizados para poder captar.

- **Ríos:** El agua que transcurre por los ríos presenta turbiedad, un alto grado de contaminación, constante variación en la temperatura y un elevado contenido de minerales, por lo cual, requieren de un mayor tratamiento.
- **Lagos naturales:** El tratamiento a implementar son mínimos, debido a que, al originarse de manera natural en forma de vertientes, proporcionan agua de calidad.
- **Embalses:** Son importantes para el almacenamiento del agua lluvia, provocando que las partículas sedimenten.

- **Agua subterránea**

Parte de la precipitación se infiltra en la cuenca a través del medio poroso del suelo hasta la zona de saturación, formando así las aguas subterráneas que presentan un gran contenido de minerales. La formación geológica de los acuíferos y sus características hidrológicas influyen en el sistema de explotación y captación del agua. (Cerón, et al., 2021)

Las fuentes de agua permiten la circulación y constante movimiento de las mismas considerándolas como un elemento primordial y esencial para realizar diferentes actividades, se conoce que cuando una fuente de agua se encuentra en movimientos se logra un aumento en la humedad de aire, por otra parte, al referirnos de una cascada muestra un efecto sedante y tranquilizante.

2.2.3. Calidad de agua

La calidad del agua en la naturaleza es muy variable y depende principalmente de las condiciones geográficas y climáticas, de su capacidad para disolver gases, minerales y sustancias orgánicas, o para mantenerlos en suspensión; su temperatura, su masa, su microbiota y la contaminación generada por las actividades comunitarias.

Para decidir si un agua es apta para un uso particular, su calidad debe ser regulada de acuerdo con las normas ambientales. De tal manera, cuando el agua sufre modificaciones que alteran sus usos reales o potenciales, se dice que el agua está contaminada. (Arellano & Lindao, 2019)

La calidad del agua es un estado caracterizado por su composición fisicoquímica y biológica y, debe permitir un uso libre de daños, ya que debe cumplir con dos características:

- Libre de sustancias y microorganismos que representen un peligro para el consumidor.
- Sin sustancias nocivas al ser consumidas (color, turbidez, olor, sabor)

2.2.4. Contaminación del agua

La mala calidad del agua provoca el crecimiento de la contaminación de la misma convirtiendo es un problema que cada vez va en aumento, la principal causa por la que el agua tanto dulce como salada se contamina, son los diferentes vertidos incontrolados de aguas residuales provenientes de industrias y zonas urbanas, muchas veces sin emplear un adecuado sistema de depuración, además se suma los vertimientos de producción agrícola , ganadera y actividades como transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas o petróleo, aguas de extracción minera y residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios o directamente en está contribuyen al deterioro de la misma. (Grijalva Endara, et al., 2020)

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud el agua está contaminada cuando su estado natural es alterado, es decir, no reúne las condiciones necesarias e idóneas para su uso debido a que su composición tanto física y química han sido modificadas.” (Reséndiz Ramírez & Soto Alcocer, 2018)

La contaminación del agua es cualquier alteración química, física o biológica en la calidad y composición, que tiene un efecto adverso en cualquier organismo que la consuma, la cual se produce por la infiltración de los lixiviados generados por desechos producidos por el ser humano, donde la carga contaminante es alta por la presencia de microorganismos. (Castro Perdomo & Rajadel Acosta, 2021)

En realidad, cualquier actividad llega a contaminar el recurso hídrico por los desechos que generan y los depositan en los efluentes, de tal manera no se encuentra disponible para otro tipo de usos, siendo primordial emplear un tratamiento.

Pero no toda la contaminación proviene siempre de actividades antrópicas; algunas son de origen natural, donde se destaca que la contaminación de las cuencas hidrográficas genera daños ambientales que afectan principalmente a las plantas y animales, por otro lado, la salud de la población. (González Pérez & Cramona Tinoco, 2018)

2.2.5. Medición de caudales

La medición de caudal hace referencia al proceso de medir los fluidos dentro de una empresa o industria. El aforo es la actividad destinada a medir el caudal que corre por una determinada sección de un cauce hídrico, en un periodo de tiempo cualquiera. (Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2019). Para medir el caudal diariamente o de modo continuo en diversos puntos de muestreo se lo puede realizar mediante dos tipos de aforos:

- **Aforos directos:** Se emplea algún aparato o procedimiento y se mide directamente el caudal en el mismo cauce.
- **Aforos indirectos o continuos:** Se caracteriza por medir el nivel del cauce y estimar el valor del caudal a partir de este. El aforo es la actividad destinada a medir el caudal que corre por una determinada sección de un cauce hídrico, en un periodo de tiempo cualquiera. (Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2019)

2.2.5.1. Método área – velocidad

Es un tipo de medición indirecta que se fundamenta en la medición del área de una sección transversal de un curso hídrico y la velocidad que incide sobre esta. La medición del área transversal se puede realizar a través de sondeos o procesos topográficos. La velocidad puede ser medida con la ayuda de instrumentos como el flotador, molinete o pendiente hidráulica, teniendo en cuenta que la velocidad puede llegar a variar a lo largo de la sección transversal. (CCI, 2017)

- **Determinación del área de la zona transversal**

La determinación del área estará en función de las condiciones del cauce hídrico. En caso de que la corriente sea variable y tenga cambios considerables, al realizarse el aforo se debe de ir midiendo la profundidad de la sección y las velocidades de extremo a extremo.

Para la medición de la profundidad se puede usar el estatal o un tubo graduado en m, y se la medirá por secciones siguiendo la siguiente ecuación. (CCI, 2017)

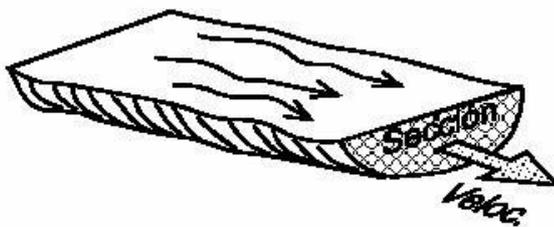


Ilustración 1-2: Medición de la velocidad en un canal

Fuente: (Dussaubat & Vargas, 2013)

Para este método se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Q = A * V$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

A: Área (m²)

V: Velocidad (m/s)

2.2.5.2. Método volumétrico

Es el método más efectivo cuando de medir corrientes pequeñas se trata. Dependerá principalmente de que tan grande sea el recipiente receptor y cuan efectiva sea su medición.

El proceso de medición consiste principalmente en llevar un caudal hacia un recipiente impermeable de volumen conocido y registrar el tiempo en que demora en llenar, con las variables de volumen y tiempo conocidas se puede aplicar la siguiente fórmula para conocer el caudal.

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

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

V: Volumen (m³)

T: Tiempo (s)

Este método es aplicado para corrientes pequeñas a nacimientos de aguas o riachuelos, generalmente para conocer de forma rápida el caudal que estén aportando las corrientes. (CCI, 2017)

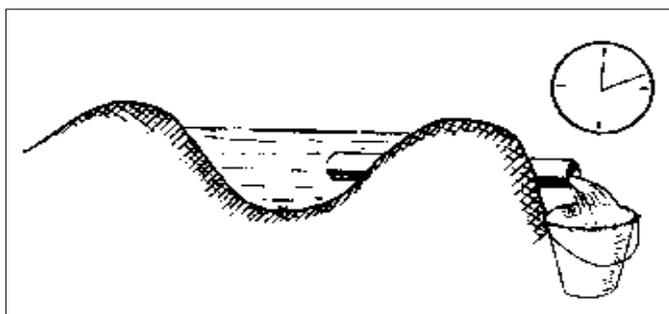


Ilustración 2-2: Medición de caudal: Método volumétrico

Fuente: (Dussaubat & Vargas, 2013)

2.2.5.3. Método de vertedero y canaletas

Es otro método de medición de caudal, usado frecuentemente en caudales pequeños. Su funcionamiento se basa en interrumpir el paso del agua en la canaleta para producir una depresión del nivel, en el cual se mide su altura y el tamaño de la lámina del agua.

En vertedero el agua cae durante un tiempo, en donde se mide la altura de lámina y se calcula cuánta agua se vertió en ese tiempo.

- **Captación**

Es el punto o puntos de origen de las aguas para obtener un cierto volumen y satisfacer una demanda.

La captación de agua superficial es tomada desde fuentes de agua de lluvia (pluviales), lagos o embalses, arroyos y ríos ya sea por gravedad o por bombeo, que pueden ser dulce o salobres. Se diseña para conseguir el caudal en las condiciones necesarias, disminuyendo al mínimo los costos de operación y mantenimiento. (INEN, 2008)

- **Vertederos**

Un muro que intercepta el flujo de agua, provocando una elevación significativa del nivel de la lámina de agua, por donde transcurre el agua, se denomina vertedero. (Lux Monroy, 2018). Sus principales funciones son:

- Medición de caudales pequeños
- Elevar el nivel de agua
- Control del flujo de agua

Sus ventajas recaen en que son de fácil construcción, bajo costo y buen rango de precisión en líquidos que no contengan sólidos.

- **Clasificación de los vertederos**

- **Vertedero Rectangular**

Con contracción: En la longitud de cresta (L) menor que el ancho del canal de acceso (B). En efecto de la contracción y la longitud efectiva del vertedero.

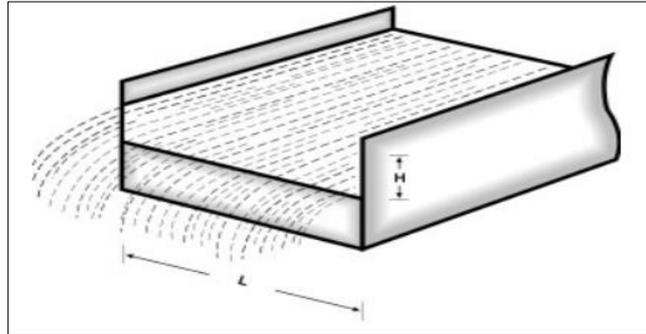


Ilustración 3-2: Vertedor rectangular con contracción

Fuente: (López & Zurita, 2016)

Sin contracción: La longitud de la cresta (L) es igual al ancho del canal de acceso (B).

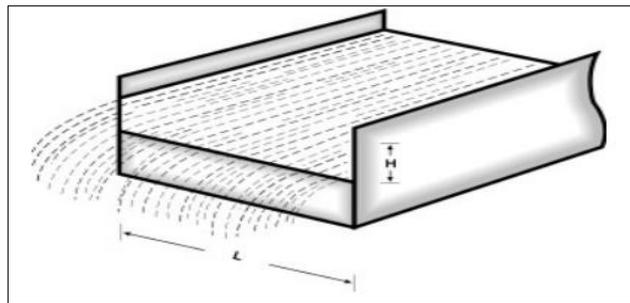


Ilustración 4-2: Vertedero rectangular sin contracción

Fuente: (López & Zurita, 2016)

- **Vertedero triangular**

Permiten medir pequeños caudales con mayor precisión en comparación a un vertedero rectangular. Los ángulos más utilizados son de 30° , 60° y 90° .

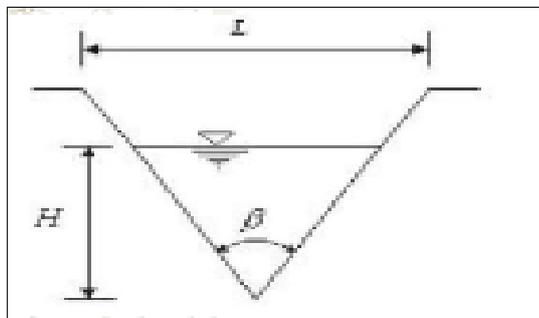


Ilustración 5-2: Vertedero de Tipo Triangular

Fuente: (Lippi Dominguez, 2016)

➤ **Vertedero trapezoidal**

El vertedero trapezoidal es conocido también como vertedero Cipolletti, debido a las contracciones laterales de tipo triangular en los costados compensa el decrecimiento del caudal, esta estructura hidráulica se emplea con mayor frecuencia para caudales sumamente pequeños. Para estas especificaciones, el grado de inclinación será 1:4 (1 horizontal para 4 vertical respectivamente).

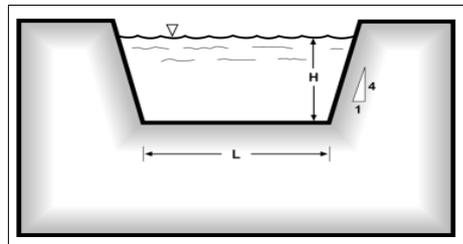


Ilustración 6-2: Vertedero trapezoidal

Fuente: (López & Zurita, 2016)

2.2.6. Aguas residuales

Las aguas residuales hacen referencia a cualquier clase de agua donde por la influencia humana se modifica su calidad de forma negativa. Es agua que, por su calidad, cantidad o disponibilidad, no tiene valor directo ni para el fin al que se destina ni para su producción.

Las aguas residuales son aquellas que provienen de una variedad de fuentes que incluyen hogares, escuelas, oficinas, hospitales e instalaciones comerciales e industriales estos efluentes al irse acumulando o siendo colocados sin un previo tratamiento, son perjudiciales para la salud y bienestar del hombre (Zaruma Arias, et al., 2018) con la aparición de malos olores y bacterias patógenas que pueden enfermar. Otro problema es que dichas aguas, en varias ocasiones contienen nutrientes, que pueden llegar a estimular el crecimiento de plantas acuáticas, y por ende se generan compuestos tóxicos que son difíciles de degradar. (Salgado, et al., 2022)

Al contener grandes cantidades de sustancias y microorganismos (a veces tóxicos), las aguas residuales pueden ser una fuente y portadora de contaminación en el punto de descarga sin tratamiento previo. La contaminación psicosocial afecta al medio natural humano, y esta es provocada por los diferentes vertidos que se depositan en los cuerpos hídricos, provocando una alteración en la estética de los paisajes. (Espigares & Pérez, 2018)

La cantidad de aguas residuales que produce una comunidad es proporcional a su consumo de agua potable ya su nivel de desarrollo económico y social. Esto se debe a que a medida que avanza el desarrollo, el uso del agua para las actividades humanas se vuelve cada vez más diverso.

Se conoce que cerca del 60% al 80% del agua potable se convierte en agua residual, y la adición de agua proveniente de la precipitación atmosférica puede alcanzar valores superiores al consumo. (Espigares & Pérez, 2018)

Los componentes que se encuentran en agua residual que contiene impurezas provenientes de vertidos de diferentes orígenes son:

- **Físicos:** Alteraciones en el color, olor, sólidos y temperatura.
- **Químicos:** Dentro de las aguas residuales tenemos a la carga contaminante orgánico como carbohidratos, grasas animales, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, compuestos orgánicos volátiles, etc.; inorgánicos como alcalinidad, cloruros, metales pesados, sulfuros, fosfatos, nitritos, nitratos, y finalmente gases como oxígeno y metano.
- **Biológicos:** Se considera el análisis de coliformes fecales y totales.

2.2.7. Tipos de aguas residuales

Los diferentes tipos de aguas residuales que se producen en una comunidad varían en su composición debido a que están influenciadas por el sistema de manejo que se emplea para su disposición final, (Ramalho, 1996) y puede incluir los siguientes componentes:

- Agua residual doméstica (o sanitaria):** Se caracteriza por el alto contenido de materia orgánica, sólidos, grasas y microorganismos debido a que proceden de las viviendas, zonas residenciales, centros comerciales y similares; las cuales necesitan de un análisis de parámetros básicos. (Osorio Rivera, et al., 2021)
- Agua residual industrial:** La composición es variable y depende exclusivamente del tipo de actividad productiva de cada empresa. Estas aguas procesan de fábricas y establecimientos industriales que se dedican a la elaboración y procesamientos de productos de origen mineral, químico, vegetal o animal.
- Aguas pluviales:** Son producto de la lluvia, agua de riego y de limpieza de lugares públicos, calles y parques. Este tipo de agua es abundante en lugares en donde las precipitaciones son constantes, las cuales no presentan gran alteración en su composición.

2.2.8. Características de las aguas residuales

Para la implementación de un diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales es primordial conocer las características que tiene cada tipo de agua residual, de tal manera es importante conocer acerca de las características físicas, químicas y biológicas más relevantes.

2.2.8.1. Características físicas

- **Temperatura**

Es una cantidad física que expresa el nivel de calor en un objeto o entorno. Se considera un factor de medición que puede identificar a la energía térmica como un contaminante. En aguas residuales, este parámetro suele ser mayor, debido a que se combina agua caliente proveniente de industrias y viviendas.

Para mantener un entorno óptimo para la actividad microbiana, la temperatura estará ente 25 y 35°C para garantizar un buen desarrollo microbiano. (Romero, 2005)

- **Olor**

El agua residual reciente posee un olor desagradable. Generalmente es producido por el ácido sulfúrico (H₂S) proveniente de la descomposición anaerobia de los sulfatos o sulfuros. El control en las plantas de tratamiento es primordial debido a que constituye actualmente un problema ambiental que genera impactos negativos.

- **Color**

Es causada por la presencia de sólidos en suspensión, sustancias coloidales y sustancias en solución. Las aguas residuales frescas son grises a medida que aumenta la cantidad de agua y el tiempo de tránsito en la red de alcantarillado cambia de color de gris oscuro a negro debido a la producción de derivados de azufre.

- **Turbiedad**

Este es uno de los parámetros primordiales para el análisis y control de la calidad del agua, cuando el agua presenta una menor turbiedad se habla de buena calidad, por otro lado, al presentar valores altos se describe que es de mala calidad; debido a que el contenido de sólidos suspendidos presentes provenientes de materia orgánica e inorgánica, arcillas, tierra, por lo cual la transparencia del agua es mínima. (Cánepa, et al., 2004)

La turbiedad es un parámetro de análisis, que se fundamenta en la transmisión e intensidad de luz que pasa por una muestra de forma que permite conocer el grado de transparencia, para lo cual se hace uso del turbidímetro que emite valores en unidades nefelométricas de turbiedad. (Metcalf & Eddy, INC, 1998)

- **Sólidos**

Para su determinación se hace uso de procesos de evaporación o secado a temperaturas y volúmenes determinados, la presencia de sólidos es la respuesta al contenido de toda materia orgánica e inorgánica presente en el agua, los cuales alteran otras características físicas como color, olor y turbiedad.

- **Sólidos Suspendidos**

Hace referencia a las partículas sólidas que se generan después de un proceso de filtración retenidos en el medio filtrante cuyos sólidos están formados por aquellas partículas no filtradas que tiene un tamaño mayor a 1.2 um, tamaño nominal de los poros.

Estos sólidos representan el material soluble y coloidal, en donde se implementan técnicas de remoción, oxidación biológica además de procesos físicos como sedimentación y complementario la implementación de coagulación y floculación.

- **Sólidos Sedimentables**

Las partículas por efecto de la gravedad descienden hasta el fondo a través de la prueba de cono Imhoff, en donde los sólidos son capaces de flotar o decantar con el agua en reposo que posterior es eliminado fácilmente por tratamientos físicos o mecánicos.

- **Sólidos Disueltos**

Los sólidos disueltos principalmente están formados por sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica molecular, ionizada o en suspensión, estas partículas atraviesan un filtro de tamaño de 0.45 um, de tal manera pueden estar formadas por sólidos disueltos y coloidales.

- **Sólidos totales**

Constituye la materia sólida que está suspendida, disuelta o asentada en un líquido que se obtienen mediante un proceso de evaporación de la muestra en un rango de temperatura de 103^a 105 °C. (Metcalf & Eddy, INC, 1998)

- **Materia flotante**

La materia flotante se la determina por observación al momento de la toma de muestra, dado a que se refiere a los sólidos en suspensión en las aguas residuales. Incluye compuestos orgánicos volátiles y materia inorgánica. La materia o material flotante tiene dos componentes: La primera corresponde a la materia grasa y la segunda corresponde a los componentes líquidos capaces de extenderse como una capa delgada y visible en áreas grandes.

2.2.8.2. Características químicas

- **Demanda Bioquímica de oxígeno**

El parámetro DBO es uno de los parámetros analíticos más importantes dado que es utilizado para medir la calidad del agua y también indica la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar sustancias orgánicas biodegradables en el agua en condiciones aerobias. Las pruebas analíticas para su determinación se realizan incubando muestras con microorganismos a 20°C y obteniendo resultados en mgO₂/L durante 5 días. Por otra parte, los resultados de los análisis ayudan a determinar el oxígeno necesario para la estabilización biológica de las sustancias orgánicas, medir y determinar la eficiencia de los procesos de depuración y controlar los vertidos. (Morales, et al., 2021)

- **Demanda química de oxígeno, DQO**

En aguas industriales, municipales y naturales que contienen contaminantes tóxicos, el análisis de la DQO se realiza para conocer la cantidad de materia orgánica que está presente. De acuerdo a la IDEAM:” La DQO representa la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua, bajo 3 criterios específicos como agente oxidante, temperatura y tiempo” (Rodríguez, 2007)

Para la determinar este parámetro se utiliza dicromato de potasio como oxidante fuerte, mientras que sulfato de plata se utiliza como catalizador para promover la oxidación de la materia orgánica en medio ácido, que puede ser ácido sulfúrico. Todo esto se debe realizar a altas temperatura alta, normalmente 150°C en un periodo de dos horas, el resultado de la DQO en la mayor parte de los casos suele ser superior a la de la DBO debido a que se produce oxidación química, expresado en mg/L. (Metcalf & Eddy, INC, 1998)

- **Oxígeno disuelto**

La presencia de oxígeno disuelto en el agua es fundamental para los microorganismos acuáticos y aeróbicos y es de gran importancia ya que es un indicador de la calidad del agua además de la capacidad de autolimpieza del oxígeno disuelto en los cuerpos de agua y crea unidades de tratamiento. Los procesos biológicos aeróbicos requieren un aporte de oxígeno y una concentración de oxígeno adecuada para su dimensionamiento y correcto funcionamiento. Como muestra para el proceso de lodos activados, debe contener el oxígeno necesario para una buena actividad microbiana. (Romero, 2005)

- **Aceites y grasas**

La presencia de altas concentraciones de aceites y grasas puede afectar negativamente el mantenimiento de las unidades dentales y complicar su actividad biológica. La mayor parte de su composición contiene carbono, hidrógeno y oxígeno. Estos tienen su origen en aguas residuales domésticas, mataderos, lavanderías, industria, entre otros.

- **Potencial de hidrógeno**

El pH es importante para el potencial de tratamiento adecuado de las aguas residuales, ya que interfiere con una variedad de procesos. Se recomienda un rango de 6,5 a 8,5 para el procesamiento biológico. Porque esto aumenta su vida biológica y permite una reproducción adecuada. (Metcalf & Eddy, INC, 1998)

- **Nitrógeno**

Este elemento es importante para el desarrollo de microorganismos y plantas. Es un parámetro necesario para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales a través de procesos biológicos. En las aguas residuales se presenta en forma de nitritos y nitratos.

- **Fósforo**

Está presente en diferentes formas: ortofosfatos, polifosfatos, y fosfatos orgánicos, siendo este último un nutriente indispensable de los microorganismos en el tratamiento biológico de las aguas residuales. (Arteaga Cortez, et al., 2019)

- **Azufre**

La presencia de derivados de azufre como los sulfuros se deben a la descomposición de la materia orgánica producto de los desechos industriales, su eliminación total es difícil de conseguir.

2.2.8.3. Características biológicas

Las aguas residuales cuentan con la presencia de microorganismos vivos cuya función se basa en descomponer, transformar, y fermentar la materia orgánica con o sin oxígeno disuelto a través de procesos aerobios o anaerobios. Estos microorganismos pueden ser de origen vegetal: plantas, semillas, helechos; de origen animal: microorganismos vertebrados e invertebrados; y también de origen protista: bacterias, hongos, protozoos y algas.

Como señala López 2017, los microorganismos que se utilizan como indicadores de la calidad de agua son los coliformes fecales debido a que son organismos patógenos numerosos y se detectan con facilidad. (López, et al., 2017)

- **Coliformes Fecales**

Los microorganismos patógenos están presentes en las aguas residuales en cantidades insignificantes y son difíciles de aislar e identificar. Por esta razón, los coliformes se utilizan como organismos indicadores de la presencia de contaminación o de organismos patógenos. Aunque no es dañina, su presencia puede detectarse fácilmente y usarse como criterio de control de higiene, ya que los coliformes se usan como indicadores. Un exceso de coliformes fecales en un cuerpo de agua hace que el agua no sea apta para el consumo humano y no sea segura para la recreación. (Pino , et al., 2021)

2.2.9. Tratamientos de aguas residuales

De tal manera, una planta de tratamiento de aguas residuales es una infraestructura diseñada para la depuración del agua, de tal manera, conlleva una serie de operaciones unitarias en donde intervienen procesos físicos, y como procesos unitarios se encuentran los procesos químicos y biológicos que buscan la eliminación de la carga orgánica e inorgánica presente en el agua. (Encalada Sanmartín & García Hevia, 2021)

La zona donde se construirá la planta de tratamiento presenta características específicas desde su construcción hasta el abandono que generará impactos en los componentes físicos como el suelo, agua y aire, por otro lado, también se verá afectado el componente biótico; desde esta perspectiva el componente socioeconómico se verá afectado, así como el bienestar público. (Montero Vega, et al., 2020)

2.2.9.1. Pretratamiento

El pretratamiento o tratamiento preliminar es el primer paso para tratar las aguas, destinado a proteger las instalaciones, equipos y funcionamiento de las estructuras buscando eliminar las condiciones indeseables, especialmente se enfoca en la remoción física de objetos grandes y materiales flotantes. (Pimiento & Cárdenas González, 2021)

Los sistemas de pretratamiento son indispensables y primordiales para el tratamiento de aguas residuales, por lo cual se conoce una variedad de procesos que ayudan a otorgar mayor durabilidad y vida útil a la planta de tratamiento.

Tabla 1-2: Procesos de pre tratamiento

PROCESO	OBJETIVO
Rejillas o tamices	Eliminación de sólidos gruesos, medianos y finos.
Desengrasado	Separación de espumas flotantes, grasas y aceites.
Desarenadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre aireación	Mejora el comportamiento hidráulico y se encarga del control de la generación de olores.

Fuente: (Sela, 2022)

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira, 2023.

Rejillas o tamices

Las aguas residuales llegan al drenaje por gravedad, conduciéndolas al lugar donde se construirá la planta de tratamiento de aguas residuales. Los materiales sólidos y bastos, como cáscaras de fruta, trapos, palos, trozos de papel y madera que muchas veces e inexplicablemente van a parar a la red de alcantarillado, se separan dirigiendo el agua a través de rejillas de barras paralelas de hierro. El objetivo principal de los dispositivos de cribado es proteger las bombas y otros equipos electromecánicos y evitar que las válvulas se atasquen. Por lo tanto, el primer procedimiento que se lleva a cabo en el influente de agua residual es el cribado. (Valdez & Vázquez, 2003).



Ilustración 7-2: Rejilla rotativa automática

Fuente: (DirectIndustry,2018)

Aforador Parshall

Este sistema de canaleta Parshall son instrumentos calibrados para medir el caudal en flujos abiertos, para su funcionamiento tiene tres partes fundamentales: la zona de convergencia, garganta y la zona de divergencia. La aplicación del aforador de tipo Parshall es comúnmente utilizada para medir volúmenes de agua residuales; los materiales de construcción son diferentes tales como metal, plástico, madera y fibra de vidrio. (De La Cruz Vega, et al., 2022)

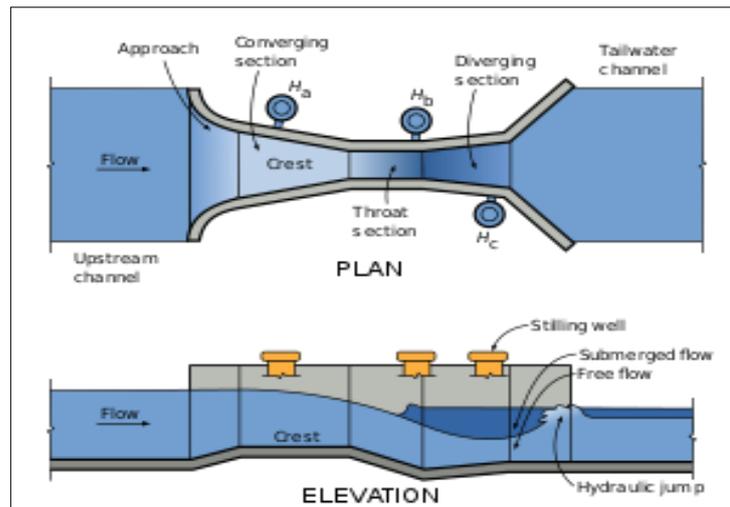


Ilustración 8-2: Canal Parshall y tipos de medidores de flujo

Fuente: VVA INDUSTRIAL,2019

Desarenadores

Los desarenadores son trampas de arena que se encuentran detrás de las rejillas. Cuando sea necesario bombear el caudal de agua residual se recomienda colocar el pozo después de los desarenadores. El propósito de separar la arena de la materia orgánica en descomposición es evitar la acumulación de arena en los tanques de aireación, obstrucción de las tuberías, desgaste de las resistencias en los tanques de sedimentación, bombas, etc. Debido a la arena, los dispositivos mecánicos y electromecánicos se desgastan más rápido. Durante la temporada de lluvias este material se extrae en grandes cantidades, por lo que al diseñarlo se debe de tener en cuenta un manejo efectivo del agua en esta época, pues es cuando más se necesitan de los desarenadores. (Valdez & Vázquez, 2003)



Ilustración 9-2: Desarenador de flujo horizontal

Fuente: (Hernández & Cisneros, 2018)

Desengrasado

Su finalidad es eliminar grasas, aceites, espumas y otros materiales en suspensión que pueden interferir en los procesos posteriores. El desengrasado suele ser estático o mediante inyección de aire para separar las grasas y espumarlas mejor. (García Juárez, et al., 2022). Una alta vida útil es esencial en los desengrasantes estáticos. Las partículas flotantes se unen en la parte superior. La separación con aire se puede realizar en los decantadores primarios, que poseen rasquetas para flotantes, pero cuando el volumen de grasa es importante este sistema de recolección es inadecuado y se deben utilizar otros sistemas.



Ilustración 10-2: Trampa de grasas

Fuente: (Hernández & Cisneros, 2018)

2.2.9.2. Tratamiento Primario

Es un tratamiento posterior al preliminar que tiene como propósito la remoción de la contaminación orgánica presente en forma insoluble, la cual normalmente se realiza por operaciones físicas como la sedimentación y en algunos casos por procesos químicos. (Quintero Yepes & Rodríguez Valencia, 2022)

En esta etapa se elimina una fracción importante de carga orgánica en donde se considera la disminución de las concentraciones típicamente remueve alrededor del 60% de sólidos suspendidos del agua residual cruda y un 35% de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). (Sela, 2022)

Tabla 2-2: Procesos de tratamiento primario

PROCESO	OBJETIVO
Flotación	Separación sólida – líquido por la diferencia de densidades.
Sedimentación primaria	Separar los sólidos en suspensión sedimentables.
Decantación	Separar sustancias de distinta densidad donde se pueden adicionar coagulantes y floculantes.

Fuente: (Quintero Yepes & Rodríguez Valencia, 2022)

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira, 2023.

Flotación

La flotación es considerada un proceso de pre clarificación efectivo en la mayor parte de los casos para tratar aguas con valores de turbidez baja, coloración significativa y con gran contenido de algas. Consiste en utilizar sales de aluminio o hierro y polímeros para separar las partículas naturales solidificadas o escamosas presentes en el agua bruta sin tratar.

En la operación unitaria de flotación se considera la diferencia el balance de masa entre la masa volumétrica de los sólidos y la del líquido en suspensión. Sin embargo, a diferencia de la sedimentación, este proceso de separación sólido–líquido solo se aplica a partículas cuya masa volumétrica (flotación natural) o aparente (flotación inducida) es menor que la masa del líquido que las contiene. (Díaz, et al., 2018)

Sedimentación primaria

Es una operación unitaria que consiste en la separación de la parte sólida y líquida, en el cual las partículas sólidas son más densas que el líquido, y se separan por la fuerza de la gravedad. Es una operación que sigue el principio de transferencia de cantidad de movimiento. El principio básico de la sedimentación es la separación de las partículas sólidas dispersas en un líquido. Debido a la diferencia significativa de densidades entre las partículas sólidas y las líquidas, las partículas sólidas al sedimentar son depositadas en el fondo, donde posteriormente son eliminadas en forma de lodos, mientras que el líquido presenta un movimiento ascendente. La viscosidad del líquido frena las partículas sólidas, donde estas deben superar la fricción con el líquido a medida que se mueven en el movimiento de caída. (García Taravilla & Martí Oliet, 2017)

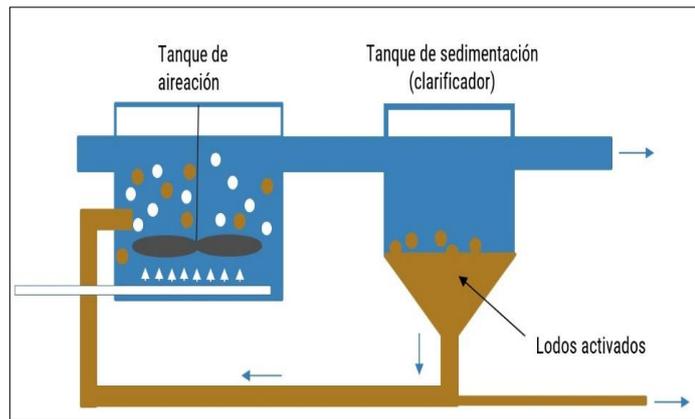


Ilustración 11-2: Tratamiento primario de aguas residuales

Fuente: (Sela, 2022)

Decantación

Es uno de los procesos únicos más antiguos que se conocen para el tratamiento de aguas residuales municipales o industriales y es un proceso puramente físico para la eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidad, por lo que es uno de los procesos más utilizados en la actualidad, de tal forma que las partículas con mayor densidad que el agua, son separadas sólo por gravedad.

En general, parte de las partículas en suspensión están formadas por materia orgánica, y al someterla a un tratamiento primario de las aguas residuales generalmente da como resultado una reducción de la DBO, y también se puede conseguir una reducción de la contaminación bacteriana.

El propósito de la decantación es reducir los sólidos en suspensión bajo la acción de la gravedad. Por lo tanto, sólo se prevé la eliminación de los sólidos sedimentables y sólidos en suspensión. En la superficie del equipo se obtiene un sobrenadante claro y en el fondo se extraen algunos sólidos en forma de lodos o lodos más o menos concentrados. (Menéndez, 2022)

Filtración

Este proceso consiste en separar las partículas sólidas de la parte líquida usando filtros que cumplen la función de medios porosos. Esta técnica hace uso de un filtro que permite el paso del líquido, pero que retiene las partículas sólidas de la mezcla sólido-líquido. La filtración es generalmente la última operación realizada en una planta de tratamiento de agua y, por lo tanto, juega un papel importante en la producción de agua de alta calidad que cumple con los estándares de agua potable. (Gaitan, 2019)

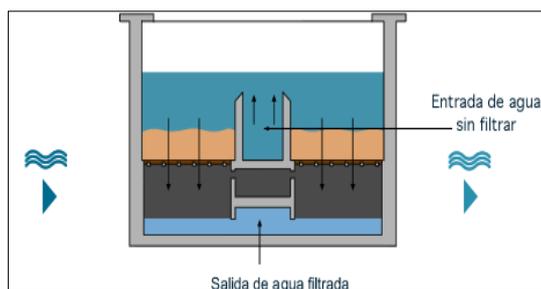


Ilustración 12-2: Proceso de filtrado de agua

Fuente: Consorcio de Aguas de Asturias

De tal manera, para determinar la eficiencia de remoción de un medio filtrantes se consideran las siguientes características de las partículas suspendidas:

- Tipo de partículas
- Tamaño
- Densidad
- Resistencia de los sólidos suspendidos
- Temperatura del agua a ser filtrada
- Concentración de partículas en el afluente
- Potencial Zeta de la suspensión
- pH del afluente

2.2.9.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario tiene como finalidad la eliminación de la materia orgánica biodegradable que no sedimentan, en este proceso intervienen microorganismos que asimilan la materia orgánica y comienzan a degradarla, exclusivamente es un proceso biológico tanto aerobio como anaerobio. (Ramalho, 1996)

Tabla 3-2: Tratamientos Secundarios más utilizados

PROCESO	OBJETIVO
Coagulación y Floculación	Extraer los sólidos suspendidos a través de la adición de sustancias químicas que desestabilizan las partículas.
Lodos activados	Convertir la materia orgánica disuelta en productos más simples con el uso de microorganismos.
Lagunaje	Degradación en estanques impermeables con ayuda de microorganismos.
Sistemas de Aireación	Permitir el suministro de oxígeno a los microorganismos y garantizar la suspensión de los mismos.

Fuente: (Ramírez Jiménez, 2021)

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira, 2023

Coagulación y floculación

La coagulación y la floculación es un proceso importante en el tratamiento de aguas residuales, debido a que su principio consiste en separar y eliminar los sólidos en suspensión. Una de las ventajas de este sistema es la clarificación del agua y la reducción de la turbidez. La coagulación y la floculación principalmente buscan eliminar los sólidos en suspensión en un corto periodo de tiempo, debido a que de forma natural pueden tardar días o incluso décadas en sedimentarse espontáneamente fuera del agua.

Ambos métodos requieren emplear una agitación física y un coagulante al proceso de tratamiento del agua. Esto optimiza el tiempo de procesamiento, la calidad del agua y los costos de operación en el tratamiento.

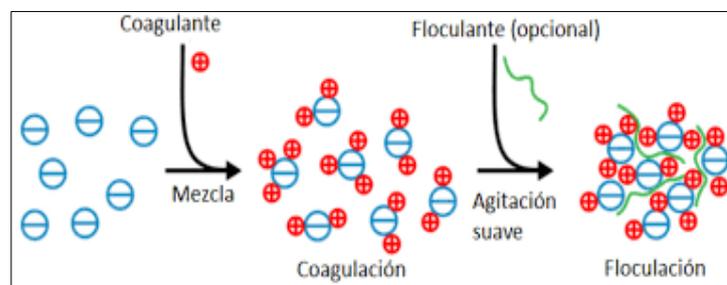


Ilustración 13-2: Coagulación-Floculación –Sedimentación

Fuente: (Matelco, 2021)

La coagulación es el proceso de neutralización de sólidos suspendidos cargados en el agua. Se conoce que las partículas naturales suelen tener cargas negativas, por lo que se agrega al proceso un coagulante o un químico con carga positiva para neutralizar la carga. Al hacer uso de coagulantes se produce un cambio de carga eléctrica de las partículas en suspensión, de tal manera se adhieren para formar partículas de mayor tamaño, en este proceso se produce la neutralización de las cargas, los mismos que con compuestos químicos y polímeros sintéticos. (Olano Arévalo, et al., 2023). En el mercado existen coagulantes químicos como:

- **Policloruro de Aluminio**

El Policloruro de Aluminio está formado por base de sales de aluminio polimerizadas para aguas que presentan alta alcalinidad, es un coagulante químico primario más conocido en el mercado que no requiere ajuste de pH para su utilización, proporciona ventajas como remoción de sustancias orgánicas, turbiedad, color, además que remueve ciertos contaminantes como DQO, aceites y grasas y sólidos de los efluentes industriales. (Rodríguez Díaz, et al., 2019)

- **Sulfato de Aluminio**

El sulfato de aluminio, es usado como coagulante que favorece la neutralización de las cargas para favorecer la colisión de partículas, empleado para procesos de purificación de agua en donde el control del pH es limitado. Por otro lado, ayuda a la disminución de alto color, dureza, turbidez, alcalinidad y oxígeno disuelto; es el coagulante más utilizado debido a que su costo en el mercado es bajo, y se comercializa en tres presentaciones como polvo, granulado y en solución.

La floculación consiste en la aglomeración de las partículas desestabilizadas formando grumos y flóculos cada vez mayores, que al pesar más hacen posible la sedimentación, mediante la agitación lenta y uniforme se consigue que las partículas se unan de forma mecánica logrando una buena floculación. (García Taravilla & Martí Oliet, 2017)

Lodos activados

Es un proceso de tratamiento de aguas residuales basado en el uso de microorganismos, particularmente bacterias heterótrofas facultativas, que crecen en las aguas residuales y convierten la materia orgánica disuelta en productos más simples, entre ellos se puede mencionar al agua, dióxido de carbono y la generación de nuevas bacterias. Es un tratamiento secundario o biológico en plantas de tratamiento de aguas residuales y se usa más comúnmente en aplicaciones municipales e industriales.

El agua residual debe caracterizarse antes del tratamiento de lodos activados para igualar el flujo y la carga orgánica en el reactor. Cuando las aguas residuales caracterizadas ingresan al reactor, se encuentra un cultivo microbiano, que consiste principalmente en bacterias en suspensión, denominado "licor mezcla".



Ilustración 14-2: Tratamiento secundario de aguas residuales

Fuente: (Portales, 2011)

Sistema de aireación

El sistema de aireación, también conocido como reactor aerobio, consiste en alojar una población de microorganismos para procesar los nutrientes, en este, se cuantifica la masa biológica representada en la cantidad de sólidos suspendidos volátiles (SSV) que se registra a través de la mezcla generada en el tanque. En los sistemas biológicos es una parte integral del tratamiento por lo cual, se debe de considerar parámetros importantes para determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica y nitrógeno entre ellos se encuentra el pH, temperatura, alcalinidad, oxígeno disuelto y el flujo de recirculación. Los sistemas de aireación hacen uso de difusores en el interior de los tanques, con la finalidad de proporcionar oxígeno para activar los procesos biológicos. La aireación ayuda a eliminar olores y sabores generados por los gases disueltos en el agua a través de la biodegradación aeróbica. (Espinosa Rodríguez, et al., 2020)

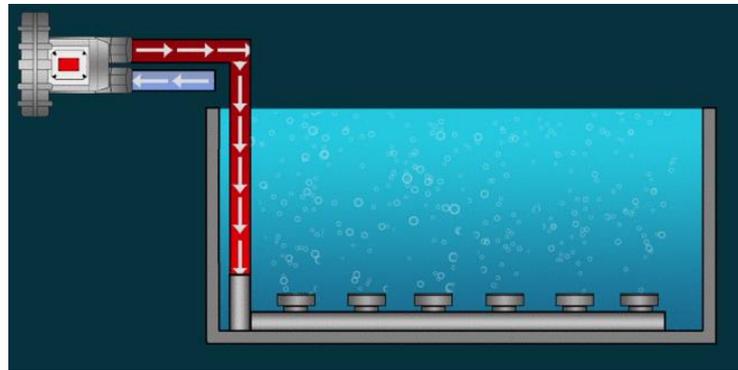


Ilustración 15-2: Sistema de aireación por difusores

Fuente: Ingeniería SAE,2022.

Sedimentador Secundario

El sedimentador secundario produce la separación sólida – líquido, en donde por efecto de la gravedad los flóculos densos sedimentan y se depositan en la parte inferior obteniendo un efluente clarificado, las partículas sedimentadas forman los fangos que son retirados por el sistema de purga. Por otra parte, permite la recirculación de los fangos activos para mantener el cultivo de bacterias adecuadas para el reactor biológico. Un sedimentador secundario permite la disminución de DBO, DQO y sólidos totales con un buen nivel de remoción, es así que después de este tratamiento se obtiene agua residual tratada libre de contaminantes. (Salamanca Rodríguez, 2022)

Lagunaje

Este sistema de tratamiento a través de lagunas es usado en estanques impermeables con la ayuda de microorganismos, algas o plantas acuáticas.

Es un tratamiento biológico, es decir, de forma orgánica, preservando el medio ambiente facilitado por la radiación solar. Es una alternativa fiable, interesante

y significativamente más económica al tratamiento más clásico y físico-químico de las depuradoras tradicionales, y es incluso más eficaz en la eliminación de sustancias causantes de enfermedades. (Alfaro Chinchilla, et al., 2019). Las instalaciones de la laguna optimizan la gestión de la contaminación en lugar de sofocar la naturaleza, sino alimentarla. Consisten en estanques artificiales que se pueden usar individualmente, pero se usan más a menudo juntos para una mayor eficiencia.

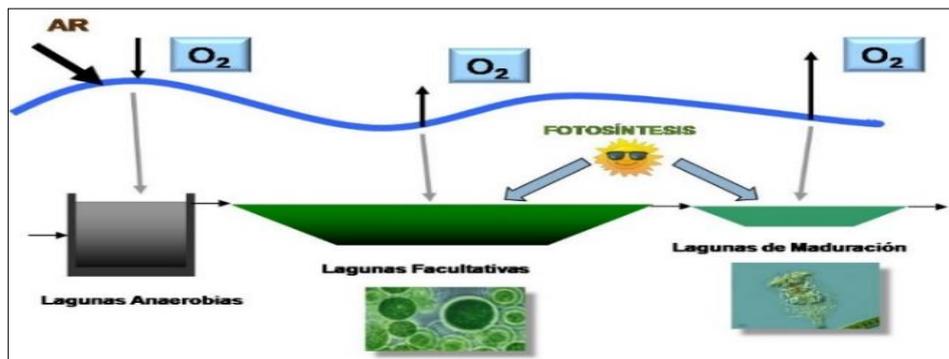


Ilustración 16-2: Depuración de aguas residuales mediante el sistema de lagunaje

Fuente: (Salas, 2018)

2.2.9.4. Tratamiento Terciario

Es un tratamiento complementario con los demás tratamientos que busca alcanzar efluentes más puros, con menor carga contaminante y que puede volver a ser usado para diferentes actividades. (Baeza Gómez, 2018)

Los sistemas de tratamiento de agua terciarios permitan la remoción de micro contaminantes y, por lo tanto, la reutilización y el cumplimiento de las normas en la descarga de efluentes. (Ríos del Toro, 2021)

En los últimos años se ha estudiado las alternativas al uso de tratamientos biológicos convencionales, así los más conocidos son los siguientes:

Filtración por membranas

Los procesos de filtración por membranas se fundamentan en la separación de moléculas considerando dos principios fundamentales como el tamaño y las características diferentes, para lo cual se emplea membranas de diferentes tamaños de poro desde la microfiltración 1-0.1 μm , ultrafiltración 0.1-0.01 μm y nanofiltración de 0.01-0.001 μm ; para mejorar el proceso también se hace uso de membranas semipermeables selectivas de tamaño de poro $< 0.001 \mu\text{m}$.

Una de las grandes ventajas que presentan estos sistemas de filtración es que son capaces de retener un gran número de sustancias contaminantes en las aguas, sin embargo, no permiten una

degradación completa, debido a que algunos contaminantes se concentran en forma de residuos sólidos, por lo cual se recomienda un tratamiento adicional posterior, y, por tanto, influye en los costos del proceso en comparación con otros métodos. Esta técnica es fácil de operar con una alta eficiencia, pero un inconveniente es la generación de grandes cantidades de lodos. (Pabón , et al., 2020)

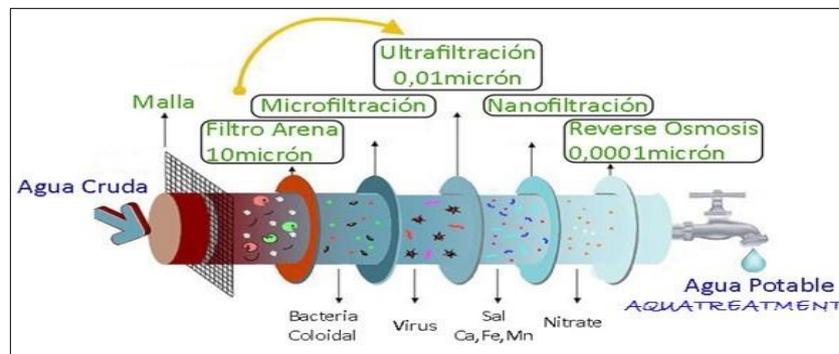


Ilustración 17-2: Filtración por membrana para purificación de agua

Fuente: (Aquatreatment, 2015)

Bioreactores de membrana

Los biorreactores de membrana son sistemas en donde se implementa la degradación biológica de los efluentes residuales con el proceso de filtración con membranas o de ultrafiltración, en donde se retienen las bacterias, virus y componentes orgánicos e inorgánicos. Estos generan una serie de ventajas, tales como: menor impacto ambiental, mejor calidad de los líquidos y un mejor control de los procesos. (González & Jáuregui, 2022)

2.3. Base legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador (2008)

En el Art.264 se describe que los servicios públicos de agua potable, alcantarillado depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la leyes competencia de los gobiernos municipales, por otro lado, el Art.415 detalla que los GAD desarrollaran programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos, logrando mantener un ambiente sano conservando la calidad del agua como lo establece el Art. 276.

2.3.2. Acuerdo Ministerial 097 A Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria

El libro VI Anexo 1 trata sobre la calidad ambiental y descarga de efluentes, tiene como objeto la “prevención y control de la contaminación ambiental en lo que se refiere al agua. En la Tabla 4 - 2 se describe los límites de descargas permitidos.

Tabla 4-2: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/L	70,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500,0
Fósforo Total	P	mg/L	15,0
Nitrógeno Total	N	mg/L	60,0
Sulfatos	SO ₄	mg/L	400,0
Potencial de Hidrogeno	pH	-	6-9
Sólidos Sedimentables	SD	mg/L	20,0
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	220,0
Sólidos Totales	ST	mg/L	1600,0
Temperatura	°C	-	< 40,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	2,0

Fuente: Acuerdo 097 A, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8, Pp.20

2.3.3. Ley Orgánica de Salud (Registro Oficial Suplemento 423 de 2015)

De acuerdo al Art.95. Correspondiente a salud y seguridad ambiental establece que “La autoridad sanitaria nacional en coordinación con el Ministerio de Ambiente, establecerá las normas básicas para la preservación del ambiente en materias relacionadas al cuidado de la salud humana, las mismas que serán de cumplimiento de carácter obligatorio para todas las personas naturales, entidades públicas, privadas y comunitarias”.

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

En el Art.104 establece que: “Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades”.

2.3.4. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 2176:2013)

NTE INEN 2176:2013 Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo de acuerdo a los volúmenes típicos de trabajo describe los lineamientos básicos y específicos para la toma de muestra representativa, el manejo y conservación de las muestras en diferentes parámetros, además de los equipos que se puedan emplear para reducir los errores de laboratorio.

2.3.5. Ley de Aguas (Registro Oficial 339 de 2008)

La producción de la calidad de las aguas en el Ecuador se fundamenta en el Artículo 22 correspondiente a la Ley de Aguas establece: “Prohibir cualquier tipo de contaminación que afecte a la salud humana, así como el desarrollo de la flora y fauna”

El Consejo Nacional de Recursos Hídricos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás entidades estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización geográfica

El presente proyecto técnico para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se desarrolló en la empresa procesadora Agroindustrial “Mis Frutales” que se encuentra ubicada en Chimborazo, Riobamba, parroquia rural de San Luis dedicada al procesamiento de pulpas de frutas, para la identificación de la zona de estudio con ayuda de Google Earth se señaló la localización de la empresa y posterior se realizó un mapa de ubicación del proyecto a través del programa ArcGIS 10.8.

3.2. Muestreo

3.2.1. Tipo de muestreo

La toma de muestra en “Mis Frutales” se realizó por medio de un método probabilístico a través de un muestreo aleatorio donde se recolectó muestras simples en el lugar y tiempo determinado con la finalidad de obtener una muestra compuesta y homogénea para determinar concentraciones promedio. Para la determinación de caudal y volumen se utilizó el método volumétrico a través de aforos con un muestreo simple.

Para el tipo de muestreo se empleó como guía la NTE INEN 2176:2013 Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo.

3.2.2. Puntos de muestreo

Se estableció 3 puntos de muestreo dentro de la empresa, con la consideración de que son los que mayor carga contaminante presente de acuerdo a la capacidad de producción de cada día, estableciendo como se detalla a continuación:

- El primer punto corresponde a la de descarga directa del sistema de desinfección de frutas
- El segundo punto corresponde a la canaleta de la empresa
- El tercer punto corresponde al tanque de recolección final.

Los puntos de muestreo fueron georreferenciados con un GPS utilizando el sistema de proyección UTM WGS84 para determinar la ubicación exacta de los puntos de muestreo dentro de la empresa.

3.2.3. *Recolección de muestra*

Se recolectó varias alícuotas de cada uno de los puntos de muestreo en un periodo de 5 días, las cuales fueron etiquetadas con la hora y fecha de muestreo. Cada una de las muestras fueron tomadas de la forma más adecuada posible en diferentes recipientes de plástico obteniendo un volumen total de 6 litros de muestra compuesta para efectuar cada uno de los análisis siguiendo lo establecido en la Norma NTE INEN 2176:2013.

Para la recolección de muestras se utilizó 2 diferentes recipientes: botellas limpias de plástico de 1 litro para llevar la muestra al laboratorio para someterlo a los análisis físicos químicos correspondientes, y además recipientes de plástico de 500 mL para tomar la muestra del punto de muestreo.

3.2.4. *Volumen de muestra*

En cada uno de los puntos de muestreo se recolecto una muestra simple en recipientes de plástico que fueron cerrados herméticamente y conservados a 4°C por 18 horas desde la toma de muestra, para posterior mezclarlos y obtener una muestra compuesta representativa.

En cada punto de muestreo se tomó un volumen de 1.5 a 2 L de acuerdo a las siguientes consideraciones para el análisis:

- 1000 mL para análisis físico químicos (solidos totales, solidos disueltos, solidos suspendidos)
- 100 mL para análisis físico químicos (nitratos, fosfatos, pH, DQO y DBO)
- 50 mL para análisis físico químicos (sulfuros y sulfatos)
- 200 mL para análisis físico químicos (tenso activos, aceites y grasas)
- 100 mL para análisis microbiológico (coliformes fecales)

3.2.5. *Frecuencia de muestreo*

El muestreo se efectuó en un horario de 15:00 a 16:00 de lunes a viernes, obteniendo una muestra simple en cada punto de muestreo, este horario de muestreo fue definido debido a que en este período la empresa presenta la mayor producción de aguas residuales, dado que, de acuerdo a la información de la propietaria de la empresa es el momento en donde el desarrollo de sus actividades productivas es alta, por la finalización de la jornada de trabajo, siendo el periodo oportuno para tomar muestras representativas.

3.2.6. Conservación y transporte de muestras

Las muestras recolectadas en cada uno de los puntos de muestreo, fueron colocadas en un cooler previamente acondicionado con hielo para la conservación a una temperatura alrededor de los 4°C y que no se produzca alteraciones en los resultados de cada muestra, para en un tiempo de 48 horas trasladarlas al laboratorio

3.3. Métodos y técnicas

3.3.1. Métodos

3.3.1.1. Método inductivo

Se considera el estudio del caudal de los tres puntos de muestreo donde se descarga el agua residual durante un periodo de 5 días, con la muestra compuesta representativa recolectada fueron llevadas hacia el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias con el fin de realizar los análisis físicos – químicos correspondientes de los contaminantes presentes en el agua en el cual se permite establecer conclusiones precisas para el dimensionamiento del diseño de la planta de tratamiento.

3.3.1.2. Método deductivo

Este método permitió validar los datos obtenidos de la caracterización inicial de las muestras de agua residual para ser comparados con la Norma para Límites de descarga al sistema de alcantarillado según el Acuerdo 097 A, Libro VI, Anexo I, Tabla 8 para dimensionar la planta de tratamiento de aguas residuales que reduzcan el nivel de contaminación y cumpla con los límites permisibles establecidos.

3.3.1.3. Método experimental

El proyecto técnico se considera experimental dado que se basa en la implementación de equipos, reactivos e instrumentos adecuados para efectuar la caracterización físico-química y biológico para demostrar la veracidad de los datos obtenidas de las muestras.

3.3.2. Técnicas

3.3.2.1. Medición del caudal volumétrico

Para la medición del caudal se empleó Método volumétrico, adecuado para caudales pequeños, siendo este un método directo donde se determina el tiempo en que un recipiente de volumen conocido es llenado.

De esta manera, se utilizó un balde de plástico con un volumen de 5 L y con un cronómetro se determinó el tiempo en el que el balde es llenado, este procedimiento se ejecutó por triplicado para validar los datos y obtener un promedio diario del caudal de la empresa.

Las mediciones del caudal se ejecutaron durante 5 días consecutivos de la semana por un periodo de un mes en un horario de 15:00 a 16:00 en un intervalo de 10 minutos en donde la producción de agua residual es representativa de acuerdo a los operarios de la empresa, se descartó la medición de los 2 días de fin de semana que corresponde a sábado y domingo debido a que en esos días la empresa no tiene actividad.

Para el cálculo se utilizó la ecuación de continuidad como se describe a continuación:

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

Donde:

Q: Caudal, L/s

V: volumen de llenado, L

T: Tiempo de llenado, s

Posterior a obtener el caudal diario de la empresa, se realizó un promedio de los valores con lo cual se determinó el caudal de diseño.

3.3.2.2. Caracterización física –química de las muestras

Para el análisis de laboratorio se trabajó con una muestra compuesta de los 3 puntos de muestreo del agua residual de la empresa “Mis Frutales”, la cual fue analizada en el laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias.

Para la caracterización inicial del agua residual, se trabajó con la muestra compuesta en un volumen de 3 litros que fue analizada en el laboratorio, posterior para el análisis del agua tratada se trabajó con un volumen de 500 mL.

Para el análisis de los parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos en el proyecto se siguió las técnicas de análisis establecidos en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater del año 2017 (Standard Methods APHA AWWA)

Tabla 1-3: Métodos utilizados para el análisis en laboratorio

Parámetro	Método	Equipo	Fundamento
pH	STANDARD METHODS 4500 - H - B	pH metro	Determinación de la actividad de los iones de hidrógeno por medida potenciométrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia.
Turbidez	STANDARD METHODS 2120 - C	Turbidímetro	Espectrofotometría de longitud de onda única
Conductividad	STANDARD METHODS 2510 B	Multi paramétrico	Capacidad que tiene una solución para conducir corriente eléctrica, que depende de la presencia de iones.
Alcalinidad	STANDARD METHODS 2320 B	Titulación	Capacidad de neutralizar ácidos y la cantidad de bases titulables.
Aceites y Grasas	STANDARD METHODS 5520-B	Embudos de Separación/Extracción con hexano	El análisis infrarrojo del extracto se realiza por directa comparación con los estándares.
Sólidos Totales	STANDARD METHODS 2540 - B	Método Gravimétrico	Una muestra bien mezclada se evapora en un plato pesado y se seca a peso constante en un horno a 103 a 105 ° C.
Sólidos Suspendidos	STANDARD METHODS 2540 - D	Método Gravimétrico	Una muestra bien mezclada pasa a través de un filtro de fibra de vidrio eficientemente pesado y el residuo retenido en el filtro se seca a un peso constante de 103 a 105 ° C.
Sólidos Sedimentables	STANDARD METHODS 2540 - F	Método Volumétrico	Los sólidos asentables producto de aguas domésticas e industriales puedan determinarse e informarse sobre un volumen(mL/L)
Sólidos Disueltos	STANDARD METHODS 2540 - C	Método Gravimétrico	Representa la presencia de minerales, sales, iones disueltos en agua.

DBO ₅	STANDARD METHODS 5210 – B	Digestor de DBO ₅	Determina las necesidades de oxígeno de las aguas residuales y contaminadas a través de periodo de incubación.
DQO	STANDARD METHODS 5220 - D	Digestor de DQO	Determina la cantidad de oxígeno para oxidar materia orgánica.
Fosfatos	STANDARD METHODS 4500 - P – D	Espectrofotómetro	Relación con el alto contenido de fosfatos y nitratos.
Nitratos	STANDARD METHODS 4500 – NO ₃ -E	Espectrofotómetro	Reducción de nitrato a nitrito en presencia de cadmio.
Nitritos	STANDARD METHODS 4500 – NO ₂ - B	Colorimétrico	Se realiza a un pH 2.0 a 2.5 mediante la formación de un colorante azoico púrpura rojiza.
Sulfatos	STANDARD METHODS 4500 – SO ₄ - E	Espectrofotómetro	La cantidad de turbidez es proporcional a la concentración de sulfatos.
Sulfuros	STANDARD METHODS 4500 – S ⁻² - E	Espectrofotómetro	Representa la descomposición de la materia orgánica.
Coliformes Fecales	STANDARD METHODS 9222 – D	Equipo de filtración de membrana	Filtración de membrana y la incubación.

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

3.4. Prueba de tratabilidad

La prueba de tratabilidad empleada para el tratamiento del agua residual de la empresa “Mis Frutales” estaban enfocada a la disminución de la toxicidad y persistencia de materia orgánica presentes, las cuales se realizaron con una muestra compuesta de agua residual sometida a los análisis físico-químicos, esta prueba se basó en la disminución de los parámetros fuera de los límites permisibles.

Se determinó que la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de la muestra de agua residual de le empresa “Mis Frutales”, es alta debido a sus actividades productivas de desinfección en el área de lavado de las frutas, por lo antes descrito, se desarrolló pruebas de tratabilidad de acuerdo al método de jarras, con la finalidad de disminuir la concentración elevada de DQO y DBO₅ a través de una serie de ensayos con diferentes coagulantes y floculantes.

3.4.1. *Test de jarras*

La prueba de jarras se fundamenta en establecer la dosis adecuada de floculante para un agua específica en el proceso de coagulación y floculación controlada en una planta de tratamiento, lo ideal es en el momento en el cual, el recurso hídrico fluctúa rápidamente.

La prueba de jarras fue utilizada para determinar la dosis de químicos que se requiere para tratar el agua, en ella se simuló el proceso de coagulación y floculación a nivel de laboratorio. Esta prueba se basa en utilizar una serie de jarras con dosis de coagulantes diferentes añadidas al mismo tiempo y sometidas a una velocidad de agitación variada. Para validar este proceso se consideran algunos parámetros químicos e hidráulicos necesarios para verificar la eficiencia del proceso, así como se detalla a continuación:

- pH
- Concentración de coagulante
- Tipo de coagulante
- Grado de agitación
- Velocidad de agitación
- Tiempo de sedimentación

Para la realización de esta prueba se empleó dos coagulantes químicos comerciales como son: Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio, los dos a una concentración del 5%. Al realizar las pruebas de test de jarras se analiza las concentraciones de los reactivos químicos, posteriormente se aplicó una agitación rápida a 200 rpm por 1 minuto y luego una mezcla lenta a 25 rpm durante 10 minutos para que pueda formarse y decanten los flóculos formados, finalmente se tomó las muestras para realizar sus respectivos análisis.

Las pruebas en jarras con coagulantes se trabajaron con un agitador de laboratorio de 4 vasos de precipitación de un volumen de 1000 mL, para el presente proyecto técnico se lo realizó de la siguiente manera:

1. Se midió pH, conductividad y turbiedad inicial con los equipos correspondientes.
2. Se colocó en cada vaso de precipitación exactamente 1000 mL, de la muestra fresca de agua residual.
3. Se colocó respectivamente las paletas de agitación en los vasos, y encendió el equipo a una velocidad de 200 rpm durante 1 minuto y se añadió 2 volúmenes de coagulante cada uno 10 mL y 5mL correspondientemente de Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio ambos al 5% de concentración.

4. Se agito por 10 minutos a 25 rpm y se observó la formación de flóculo y el comportamiento de cada jarra.
5. Extraer una muestra del agua clarificada y emplear los métodos de análisis establecidos.

Finalmente, para determinar el mejor coagulante y floculante idóneo para tratar el agua residual de la empresa “Mis Frutales”, se comparó la caracterización inicial y final de la muestra de agua y se determinó la eficiencia del proceso, de esta manera se determinó el coagulante más eficaz para mejorar la calidad de agua de la empresa.

Ya definido el coagulante más efectivo para la muestra de agua residual, se ejecutó la prueba de jarras con Policloruro de Aluminio a 7 diferentes concentraciones (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 mL) donde se colocaron los volúmenes correspondientes de coagulante con ayuda de una jeringa en cada vaso de precipitación de 1000 mL, bajo las mismas condiciones de mezcla rápida de 200 rpm por 1 minuto y una mezcla lenta de 25 rpm por 10 minutos. Finalmente, para determinar el porcentaje de remoción se tomó alícuotas de cada vaso de precipitación y se midió turbiedad y pH final.

3.4.1.1. Materiales y equipos

Para la realización de la prueba de jarras se emplearon los siguientes equipos y materiales:

Tabla 2-3: Materiales y equipos

Materiales	Equipos
– Mandil y guantes	– Balanza Analítica
– Vasos de precipitación de 1000 mL	– Turbidímetro
– Vasos de precipitación de 100 mL	– pH metro
– Jeringas de 10 mL	– Equipo de Jarras
– Agua Destilada	

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

3.5. Dimensionamiento de la planta de tratamiento

3.5.1. Período de diseño

Para realizar el dimensionamiento se considera la proyección de 20 años de vida útil de la planta de tratamiento de acuerdo al periodo de diseño establecido en la Norma De Diseño Para Sistemas De Abastecimiento De Agua Potable, Disposición De Excretas Y Residuos Líquidos En El Área

Rural de SENAGUA, para las empresas se debe de dimensionar de acuerdo a el nivel de producción proyectada, se recomienda un periodo de 10 años.

3.5.2. Caudal de diseño

Para determinar el caudal de diseño en campo, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula el caudal calculado:

$$Q_c = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Donde:

Qc: Caudal calculado, (L/ min.)

V: Volumen, (L)

t: Tiempo, (min)

Para el diseño se consideró el caudal proyectado de acuerdo al nivel de producción de la empresa, para lo cual se indagó con el propietario de la empresa para conocer acerca del futuro incremento en la actividad productiva para de esta manera establecer el caudal de diseño óptimo para el diseño de los sistemas de tratamiento ideales para la empresa “Mis Frutales, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Q_d = Q_c + Q_c * FS \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

Qd: caudal de diseño (L/min)

Qc: caudal calculado (L/min)

FS: factor de seguridad

3.5.2.1. Caudal de Diseño Proyectado

El caudal de una empresa varía proporcionalmente de acuerdo a su nivel de producción, por lo cual es necesario e importante proyectar el caudal que tiene para establecer el sistema de tratamiento de agua residual.

$$Q_d = P * D \quad \text{Ecuación 3-3}$$

Donde:

Qd: caudal de diseño proyectado (L/día)

P: producción proyectada (Kg/ día)

D: dotación de agua residual en relación a la producción (L/ Kg x día)

3.5.3. *Pretratamiento*

3.5.3.1. *Canal de Acercamiento*

Para dimensionar el canal de entrada a la planta de tratamiento de agua residual se necesita conocer el caudal y velocidad del flujo que se transporta. Conociendo esos parámetros se aplica la siguiente ecuación para determinar el área:

- **Área del canal, A**

$$Q = v * A \qquad \text{Ecuación 4-3}$$

Donde:

Q: caudal (m³/s)

v: velocidad (m/s)

A: área (m²)

El área de acuerdo a la geometría rectangular del canal se establece con:

$$A = B * h \qquad \text{Ecuación 5-3}$$

Donde:

A: área (m²)

B: ancho (m)

h: altura efectiva (m)

- **Altura del canal, H**

$$H = h + h_s \qquad \text{Ecuación 6-3}$$

Donde:

H: altura del canal, (m)

h: altura efectiva (m)

h_s: altura de seguridad, (m)

3.5.3.2. *Rejillas*

- **Velocidad en el canal, V**

Para lo cual podemos escoger una velocidad de 0,6 a 1 m/s.

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 7-3}$$

Donde:

V: velocidad, (m/s)

R: radio hidráulico, (m)

S: pendiente

n: material de construcción

- **Área transversal y altura del canal**

Para determinar el área transversal, optamos por seguir los datos proporcionado por el canal Parshall.

- **Número de barras en el canal**

$$N_b = \frac{B}{S + e} \quad \text{Ecuación 8-3}$$

Donde:

B: ancho del canal, (m)

Nb: Número de barroses

S: separación de barroses, (cm)

e: grosor de barroses, (cm)

- **Dimensiones de los barroses**

- **Largo barrote**

$$\text{sen } \theta = h/lb \quad \text{Ecuación 9-3}$$

Donde:

h: altura del canal, (m)

lb: largo del barrote, (m)

sen θ : ángulo de inclinación del barrote.

- **Largo de inclinación del barrote.**

$$\text{tg } \theta = h/L \quad \text{Ecuación 10-3}$$

Donde:

h: altura del canal, (m)

L: largo del barrote de inclinación.

tg θ : ángulo de inclinación del barrote.

- **Pérdida de carga**

$$h = \beta \left(\frac{S}{\text{espesor}} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \text{sen } \theta$$

Ecuación 11-3

Donde:

h: es la altura del canal, (m)

β : beta es el índice que depende del tipo de barrote.

S: es la pendiente de inclinación.

V: es la velocidad con la que se mueve el fluido, (m/s)

$\text{sen } \theta$: es el ángulo de inclinación de los barrotes en este caso de 45°.

3.5.3.3. Aforador Parshall

- **Altura del tirante de agua, Ha**

Se calcula a partir de la ecuación de medición de cauda que corresponde a una expresión matemática que relaciona las variables y constantes del canal.

$$Q = S (H_a)^n$$

Ecuación 12-3

Donde:

Q: caudal (m³/s)

Ha: profundidad del agua en una posición dada

S y n: constantes que dependen de las dimensiones del canal.

- **Ancho del canal en la sección de medición, D'**

$$D' = \frac{2}{3} (D - W) + W$$

Ecuación 13-3

Donde:

D: ancho de la sección de convergencia (m)

W: ancho de la garganta del canal (m)

- **Velocidad en la sección de medición, V_o**

$$v_o = \frac{Q}{D' * H_a}$$

Ecuación 14-3

Donde:

Q: caudal, (m³/s)

V_o: velocidad (m/s)

A: área, (m²)

D': ancho del canal en la sección de medición, (m)

- **Caudal específico, q**

$$q = \frac{Q}{W} \quad \text{Ecuación 15-3}$$

Donde:

Q: caudal, (m³/s)

W: ancho de la garganta del canal, (m)

- **Carga hidráulica disponible, E_o**

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_a + N \quad \text{Ecuación 16-3}$$

Donde:

V_o: velocidad de la sección de medición (m/s)

g: gravedad, 9.8 m/s²

H_a: tirante de agua o profundidad, (m)

N: inclinación del canal en la zona de garganta, (m)

- **Velocidad antes del resalto, v₁**

$$v_1 = 2 \sqrt{\frac{2}{3} g E_o} \cos\left(\frac{\beta}{3}\right) \quad \text{Ecuación 17-3}$$

Donde:

V₁: velocidad, (m/s)

g: gravedad, (m/s²)

E_o: carga hidráulica disponible

B: ángulo de inclinación

- **Altura antes del resalto hidráulico, H_b**

$$H_b = \frac{q}{v_1} \quad \text{Ecuación 18-3}$$

Donde:

Q: caudal específico, (m³/s/m)

V₁= velocidad antes del resalto, (m/s)

- **Porcentaje de sumergencia, S**

$$S = \frac{H_b}{H_a} * 100 \quad \text{Ecuación 19-3}$$

Donde:

H_b : altura antes del resalto hidráulico, (m)

H_a : altura del tirante de agua, (m)

- **Número de Froude, Fr**

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g * H_b}} \quad \text{Ecuación 20-3}$$

Donde:

V_1 = velocidad antes del resalto, (m/s)

H_b : altura antes del resalto hidráulico, (m)

g : gravedad, (m/s²)

- **Altura del resalto hidráulico, H_2**

$$H_2 = \frac{H_b}{2} (\sqrt{1 + 8 Fr^2} - 1) \quad \text{Ecuación 21-3}$$

Donde:

H_2 : altura del resalto hidráulico, (m)

H_b : altura antes del resalto hidráulico, (m)

Fr: número de Froude

- **Velocidad en resalto hidráulico, v_2**

El valor de velocidad en el resalto hidráulico tiende a bajar y generar turbulencia.

$$v_2 = \frac{Q}{W H_2} \quad \text{Ecuación 22-3}$$

Donde:

v_2 , velocidad en resalto hidráulico, (m/s)

Q: caudal, (m³/s)

W: ancho de la garganta, (m)

H_2 : altura del resalto hidráulico, (m)

- **Altura en la sección de salida, H_3**

$$H_3 = H_2 - (N - k) \quad \text{Ecuación 23-3}$$

Donde:

H_3 : altura en la sección de salida, (m)

H_2 : altura del resalto hidráulico, (m)

N: inclinación del resalto hidráulico, (m)

k: altura final del agua después del resalto, (m)

- **Velocidad en la sección de salida, v_3**

$$v_3 = \frac{Q}{C H_3}$$

Ecuación 24-3

Donde:

v_3 : velocidad en la sección de salida, (m/s)

Q: caudal, (m³/s)

C: ancho de la sección de salida, (m)

H_3 : altura en la sección de salida, (m)

- **Tiempo de retención, T**

$$T = \frac{2 G}{v_2 + v_3}$$

Ecuación 25-3

Donde:

G: largo de la sección de salida, (m)

v_2 : velocidad en resalto hidráulico, (m/s)

v_3 : velocidad en la sección de salida, (m/s)

- **Gradiente de velocidad, G**

$$G = \sqrt{\frac{h_p g \rho}{\mu T}}$$

Ecuación 26-3

Donde:

h_p : pérdida de carga, (m)

g : gravedad, (m/s²)

ρ : densidad, (kg/m³)

μ : viscosidad cinemática, (Pa. s)

T: tiempo de retención, (s)

3.5.4. Tratamiento Primario

3.5.4.1. Sedimentador primario

- **Área superficial, A_s**

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

Ecuación 27-3

Donde:

Q: caudal de diseño, m³/d

C_s : carga superficial, m³/ m² d

- **Dimensiones del tanque de sedimentación**

$$A_s = L * B$$

Ecuación 28-3

Donde:

L: largo del sedimentador, m

B: ancho del sedimentador, m

- **Volumen del sedimentador, V**

$$V = Q * TRH$$

Ecuación 29-3

Donde:

Q: caudal de diseño, m³/s

TRH: tiempo de retención hidráulica, s

- **Altura útil, H**

$$H = \frac{V}{A_s}$$

Ecuación 30-3

Donde:

V: volumen del sedimentador, m³

As: área superficial, m²

- **Altura de lodos, h**

$$h_l = L \tan \theta$$

Ecuación 31-3

Donde:

L: largo del sedimentador, m

tan θ: ángulo de inclinación

- **Ancho del canal de entrada, b**

Área del canal, A

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

Ecuación 32-3

Donde:

Q: caudal de diseño, m³/s

v: velocidad de sedimentación, m/s

3.5.4.2. Coagulación – floculación

Tanque de coagulación

- **Volumen del tanque de coagulación, V_t**

$$V_t = Q_{max} * Trh \quad \text{Ecuación 33-3}$$

Donde:

V_t : volumen del tanque de coagulación, (m³)

Q_{max} : caudal máximo, (m³/s)

Trh : tiempo de retención, (s)

- **Diámetro de la cámara de coagulación, DT**

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * V * a}{\pi * b}} \quad \text{Ecuación 34-3}$$

Donde:

DT : diámetro de la cámara de mezcla, (m)

V_t : volumen del tanque de coagulación, (m³)

a: relación geométrica

b: relación geométrica

- **Profundidad de la cámara de mezcla, H**

$$H = b * \frac{DT}{a} \quad \text{Ecuación 35-3}$$

Donde:

H : profundidad de la cámara de mezcla, (m)

DT : diámetro de la cámara de mezcla, (m)

a: relación geométrica

b: relación geométrica

- **Diámetro de la turbina, D**

$$D = \frac{DT}{a} \quad \text{Ecuación 36-3}$$

Donde:

D : diámetro de la turbina, (m)

DT : diámetro de la cámara de coagulación, (m)

a: relación geométrica

- **Anchura de los deflectores, W_d**

$$W_d = \frac{D}{10}$$

Ecuación 37-3

Donde:

W_d : anchura de los deflectores, (m)

D: diámetro de la turbina, (m)

Diseño de las paletas del tanque de coagulación

- **Gradiente de velocidad del fluido, G**

$$G = 0.25 * n^{1.25}$$

Ecuación 38-3

Donde:

G: gradiente de velocidad, (S^{-1})

n: revoluciones por minuto (RPM)

- **Potencia disipada de la mezcla, P**

$$P = G^2 * \mu * V$$

Ecuación 39-3

Donde:

P: potencia necesaria, (KW)

G^2 : gradiente medio de velocidad del fluido, (S^{-1})

μ : viscosidad dinámica del agua residual, ($N*s/m^2$)

V: volumen del tanque de coagulación, (m^3)

- **Diámetro del impulsor, d_i**

$$d_i = \frac{1}{3} * \emptyset$$

Ecuación 40-3

Donde:

d_i : diámetro del impulsor, (m)

\emptyset : diámetro del tanque de coagulación, m

- **Altura del impulsor respecto al fondo, H_i**

$$H_i = d_i$$

Ecuación 41-3

Donde:

H_i : altura del impulsor, (m)

d_i : diámetro del impulsor, (m)

- **Anchura de las palas del impulsor, q**

$$q = \frac{1}{5} * di$$

Ecuación 42-3

Donde:

q: anchura de las palas el impulsor, (m)

di: diámetro del impulsor, (m)

- **Longitud de las paletas del impulsor montadas en el disco central, L_p**

$$L_p = \frac{1}{8} * di$$

Ecuación 43-3

Donde:

L_p: longitud de las palas del impulsor, (m)

di: diámetro del impulsor, (m)

- **Longitud de las paletas del impulsor, L_{pi}**

$$L_{pi} = \frac{1}{4} * di$$

Ecuación 44-3

Donde:

L_{pi}: longitud de las palas del impulsor, (m)

di: diámetro del impulsor, (m)

- **Diámetro del disco central, S**

$$S = \frac{1}{4} * \emptyset$$

Ecuación 45-3

Donde:

S: diámetro del disco central, (m)

∅: diámetro del tanque de coagulación, (m)

- **Velocidad de rotación, N**

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * di^5}}$$

Ecuación 46-3

Donde:

P: potencia necesaria, (Watt)

ρ: densidad del fluido, (Kg/m³)

di: diámetro del impulsor, (m)

k: constante de mezclado

3.5.5. Tratamiento Secundario

3.5.5.1. Lodos activados

- **La DBO₅ en el Efluente, Se**

$$Se_r = S_e - 0,63 Xe \quad \text{Ecuación 47-3}$$

Donde:

Se_r: DBO presentes realmente en el efluente, (mg/L)

Se: DBO del afluente de salida, (mg/L)

Xe: Sólidos suspendidos del efluente, m(g/L)

- **Biomasa presente en el Biorreactor, X.V**

$$X.V = \frac{\theta_c * Y * Q(S_o - S_{er})}{1 + K_d * \theta_c} \quad \text{Ecuación 48-3}$$

Donde:

Y: rendimiento de la Biomasa, (Kg SSVLM/Kg DBO)

K_d: constante de decaimiento endógeno, (d⁻¹)

θ_c: tiempo de retención de lodos, (d)

Se_r: DBO presentes realmente en el efluente de salida, (mg/L)

S_o: DBO del efluente de entrada, (mg/L)

Q: caudal, (L/d)

- **Volumen del reactor, V**

$$V = \frac{XV}{X} \quad \text{Ecuación 49-3}$$

Donde:

V: volumen del Reactor, (m³)

XV: biomasa en el Biorreactor, (Kg)

X: cantidad de SSVLM, (mg/L)

- **Cantidad de lodos, Px**

$$Px = \frac{XV}{\theta_c} \quad \text{Ecuación 50-3}$$

Donde:

θ_c: tiempo de retención de lodos, (d)

Px: cantidad de Lodos, (Kg/d)

- **Sólidos Totales de desecho o Purga (Lodo seco), Px_s**

$$Px_s = \frac{Px}{SSV} \quad \text{Ecuación 51-3}$$

Donde:

Px : cantidad de Lodos, (Kg/d)

Px_s : cantidad de Lodos, (Kg/d)

SSV: sólidos suspendidos volátiles, (%)

- **Caudal de Lodos, Q_w**

$$Q_w = \frac{Px_s}{X_\mu} \quad \text{Ecuación 52-3}$$

Donde:

Q_w : caudal de Lodos, m^3/d

X_μ : sólidos suspendidos concentrados en los lodos del fondo del sedimentador, Kg/m^3

Px_s : cantidad de Lodos, Kg/d

- **Caudal de Recirculación, Q_r**

$$Q_r = \frac{Q * X}{X_r - X} \quad \text{Ecuación 53-3}$$

Donde:

Q : caudal, (m^3/d)

X : concentración de los SSVLM, (mg/m^3)

X_r : $X_\mu * (1 \% SSV)$ = Concentración de SSV de Recirculación, (mg/m^3)

X_μ : sólidos suspendidos concentrados en los lodos del fondo del sedimentador, (Kg/m^3)

- **Tiempo de retención hidráulica, θ**

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 54-3}$$

Donde:

θ : tiempo de Retención hidráulica, (h)

V : volumen del reactor, (m^3)

Q : caudal de entrada, (m^3/h)

- **Cantidad de Oxígeno Requerido, OD**

$$OD = 1,5 Q (S_o - S_e) - 1,42 X_r * Q_w \quad \text{Ecuación 55-3}$$

Donde:

DO: cantidad de Oxígeno requerido, (Kg/d)

Q: caudal, (m³/d)

Se: DBO presentes en el efluente, (Kg/ m³)

So: DBO del efluente de entrada, (Kg/ m³)

Qw: caudal de Lodos, (m³/d)

Xr: X_μ*(1% SSV): SSV de Recirculación, (mg/m³)

X_μ: solidos suspendidos concentrados en el fondo, (Kg/ m³)

- **Cantidad de Aire en Condiciones Estándares**

$$Q_{aire} = \frac{OD}{\%O_2 * \rho} \quad \text{Ecuación 56-3}$$

Donde:

OD: cantidad de Oxigeno requerido, (Kg/d)

%O₂: % de O₂ presente en el Aire

P: densidad del Aire a la temperatura de la zona

- **Cantidad de Aire real que se integra al sistema, Q_{O₂}.**

Para transferir el Oxigeno del equipo de aireación en condiciones reales en el que solo un porcentaje (%) mínimo de Oxigeno se puede trasferir con eficiencia al flujo de agua.

$$Q_{O_2} = \frac{Q_{Aire}}{\% O_2 \text{ aire-Agua}} \quad \text{Ecuación 57-3}$$

Donde:

Q_{O₂}: caudal de Oxigeno que se trasfiere del aire al agua, (m³/d)

Q_{Aire}: caudal del Aire que es inyectado, (m³/d)

% O₂ aire-Agua : porcentaje de O₂ que puede ser trasferido al fluido con eficiencia.

- **Relación de Alimento Microorganismos, F/M**

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(S_o - S_e)}{V \cdot X} \quad \text{Ecuación 58-3}$$

Donde:

F/M ó A/M: relación de alimento microorganismos, (Kg DBO/Kg SSVLM)

Q: caudal, (m³/d)

Se: DBO presentes realmente en el efluente, (Kg/ m³)

So: DBO del efluente de entrada, (Kg/ m³)

V: volumen del biorreactor, (m³)

X: concentración de los SSVLM, (mg/L)

- **Eficiencia de la planta, e.**

$$e = \frac{DBO_e}{DBO_o} * 100$$

Ecuación 59-3

Donde:

e: eficiencia de la planta, (%)

DBO_e: Demanda Bioquímica de Oxígeno Final, (mg/L)

DBO_o: Demanda Bioquímica de Oxígeno Inicial, (mg/L)

- **Volumen del tanque del reactor, V**

$$V = L \times B \times H$$

Ecuación 60-3

Donde:

L: largo, (m)

B: ancho, (m)

H: altura(m)

Relaciones de tamaño de acuerdo a (Sánchez Prieto & Martínez Dávila, 2015)

$$L = 2B = 3H$$

- **Área del tanque de aireación, A_t**

$$A_t = L \times B$$

Ecuación 61-3

Donde:

A_t: área del tanque de aireación, (m²)

L: largo, (m)

B: ancho, (m)

- **Área unitaria de los difusores, A_u**

$$A_u = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ecuación 62-3

Donde:

A_u: área unitaria del difusor, (m²)

D: diámetro del difusor, (m)

- **Número de difusores, N_L**

$$N_L = \frac{A_t}{A_u}$$

Ecuación 63-3

Donde:

N_L: número de difusores

A_t: área del tanque de aireación, (m²)

A_u : área unitaria del difusor, (m^2)

3.5.5.2. Sedimentador Secundario

- **Caudal en el sedimentador ($Q_{\text{sedimentación}}$)**

$$Q_{\text{sedimentación}} = Q + Q_R - Q_W \quad \text{Ecuación 64-3}$$

Donde:

Q = Caudal promedio de diseño, (m^3/d)

Q_R = Caudal de recirculación, (m^3/d)

Q_W = Caudal de purga, (m^3/d)

- **Área del tanque de sedimentación, A**

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad \text{Ecuación 65-3}$$

Donde:

A : área, (m^2)

Q : caudal de diseño, (m^3/d)

C_s : Carga superficial, ($m^3/m^2 \cdot d$)

- **Diámetro del sedimentador, D**

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 66-3}$$

Donde:

A : área del sedimentador, (m^2)

D : diámetro del sedimentador, (m)

π : valor de pi

- **Radio del sedimentador, r**

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ecuación 67-3}$$

Donde:

A : área del sedimentador, (m^2)

r : radio del sedimentador, (m)

π : valor de pi

- **Volumen del tanque de sedimentación, V**

$$V = A \times h_{TS} \quad \text{Ecuación 68-3}$$

Donde:

V: volumen del sedimentador, (m³)

A: área del sedimentador, (m²)

H_{TS}: altura del agua clarificada del sedimentador, (m)

- **Altura de la zona de lodos, h_l**

$$h_l = \frac{D}{2} (80 \text{ mm/m}) \quad \text{Ecuación 69-3}$$

Donde:

H_l: altura de lodos, (m)

D: diámetro del sedimentador, (m)

- **Altura total del sedimentador, H**

$$H = h_{TS} + h_l + h_s \quad \text{Ecuación 70-3}$$

Donde:

H_{TS}: altura del agua clarificada del sedimentador, (m)

h_l: altura de la zona de lodos, (m)

h_s: altura de seguridad, (m)

- **Cámara de reparto, R_c**

Por parámetros de diseño se asume que será igual al 25% del diámetro total del sedimentador.

$$R_c = 0,25(D) \quad \text{Ecuación 71-3}$$

Donde:

R_c: cámara de reparto central en el tanque, (m)

D: diámetro total del sedimentador, (m)

- **Altura de la cámara de reparto, H_c**

$$H_c = \frac{1}{3} H \quad \text{Ecuación 72-3}$$

Donde:

H: altura total del sedimentador, (m)

- **Carga sobre vertedero de salida, C_v**

$$C_v = \frac{Q}{\pi x D} \quad \text{Ecuación 73-3}$$

Donde:

C_v : carga sobre vertedero de salida, ($m^3/ m d$)

Q : caudal de diseño, (m^3/ d)

D : diámetro del sedimentador, (m)

3.6. Porcentaje de remoción de contaminantes

$$E = \frac{X_o - X_f}{X_o} * 100$$

Ecuación 74-3

Donde:

E : eficiencia de remoción de contaminantes

X_o : valor inicial del contaminante

X_f : valor final del contaminante

3.7. Elaboración de planos

Para la elaboración de los planos en formato A4 de cada uno de los componentes del sistema de la planta de tratamiento de agua residual de la empresa “Mis Frutales” se utilizó el programa AutoCAD 2020.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Localización de la empresa

La empresa “Mis Frutales” se encuentra localizada a 2657 msnm con coordenadas 78°64' de longitud occidental y 1°71' de latitud sur, cómo se detalla en la siguiente ilustración a continuación:



Ilustración 1-4: Ubicación de la empresa “Mis Frutales”

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

La empresa agroindustrial “Mis Frutales” se encuentra ubicada en la provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, en la parroquia rural de San Luis en las calles Independencia y Sucre ocupando un área de 400 m² y un perímetro de 87.9 m como se detalla a continuación:

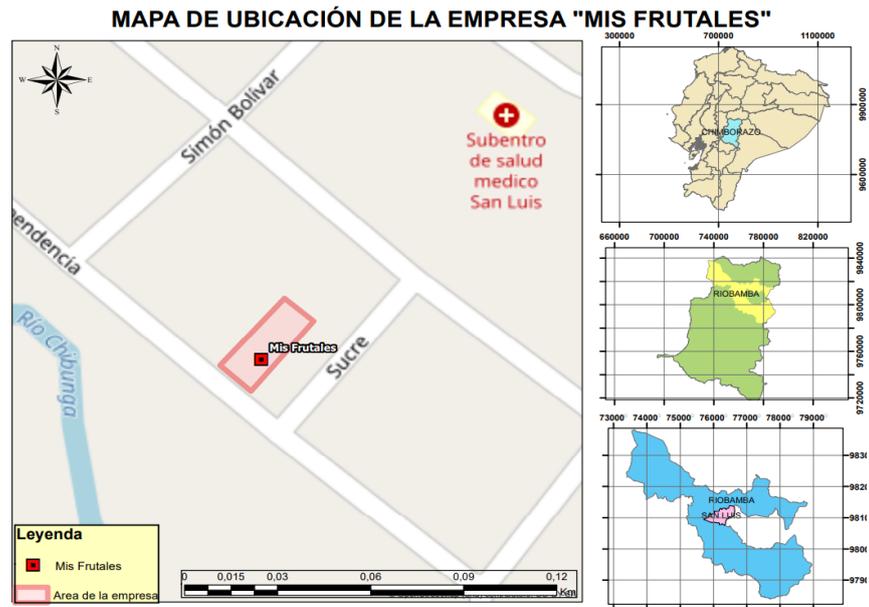


Ilustración 2-4: Mapa de ubicación de la empresa “Mis Frutales”

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

4.2. Ubicación de los puntos de muestreo

Para determinar los puntos de muestreo se consideró los lugares específicos en donde se genera en mayor cantidad agua residual dentro de la empresa, con este fundamento se determinó los siguientes puntos de muestreo como se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 1-4: Puntos de muestreo de la empresa

Nº de punto	Ubicación	Lugar en el que se vierte
P1	Área de desinfección y limpieza de frutas en el interior de la empresa.	Sistema de alcantarillado de la parroquia de San Luis
P2	Canaleta de acero en la parte principal de la empresa.	Sistema de alcantarillado de la parroquia de San Luis
P3	Tanque de almacenamiento final	Sistema de alcantarillado de la parroquia de San Luis

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

De acuerdo a estos puntos de muestreo se trabajó con una muestra simple de cada punto en un volumen de 1 L recolectada en un recipiente de plástico, para posterior obtener una muestra compuesta de los tres puntos para mantener representatividad de la muestra en cada uno de los análisis físico-químicos realizados.

4.3. Caudales aforados

Los caudales que presenta la empresa “Mis Frutales” fueron medidos por un período de 4 semanas en 5 días de trabajo, haciendo uso de la ecuación de continuidad que relaciona el volumen con el tiempo, además se consideró las horas de mayor producción de agua residual de acuerdo a información proporcionada por los operadores de la empresa que establece un horario de 15: 00 a 16:00 pm en donde la producción de agua residual es significativa en comparación al resto del día en un intervalo de 10 minutos, los resultados de medición del caudal se describen a continuación:

4.3.1. Semana 1

En la primera semana de medición, se determinó que el mayor caudal se produce el día lunes con 11.71 L/min, esto se debe a que se realiza la limpieza y desinfección para iniciar la actividad productiva de la semana, de tal manera se cuenta con un caudal promedio de 10.64 L/min.

Tabla 2-4: Medición del caudal en la primera semana en la empresa “Mis Frutales”

CAUDAL TOTAL (L/min)						
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio
15:00	14,30	11,10	13,20	12,50	12,20	12,66
15:10	10,90	11,10	12,50	11,90	11,60	11,60
15:20	12,50	10,40	11,10	11,10	11,10	11,24
15:30	11,10	10,00	10,90	10,00	11,10	10,62
15:40	10,80	9,00	10,00	9,00	9,60	9,68
15:50	12,50	9,60	9,60	8,30	9,10	9,82
16:00	9,90	8,30	9,60	8,30	8,30	8,88
Total	11,71	9,93	10,99	10,16	10,43	10,64

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2022

En la Ilustración 3-4, se puede observar la variación de caudal en una semana de medición de acuerdo a cada día, se conoce que el caudal no es constante, en los primeros instantes se apreció un valor mayor y esto se debe a que son los primeros momentos en donde se comienza el lavado de las maquinas, por ende, el caudal es alto, posterior este comienza a disminuir proporcionalmente.

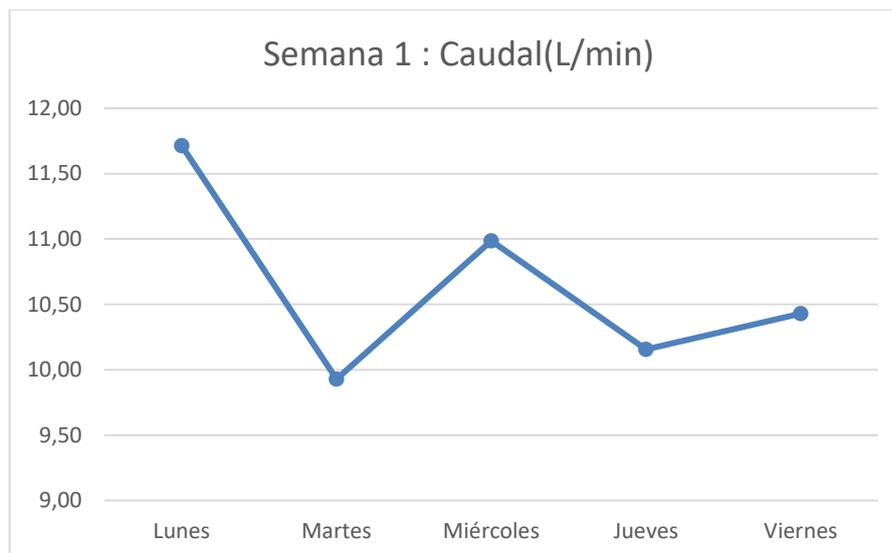


Ilustración 3-4: Variación del caudal diario en la primera semana

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

4.3.2. Semana 2

En la segunda semana de medición, se determinó que el día jueves el caudal fue de 10.80 L/min el más alto en comparación a los demás días, y esto se debe a la mayor producción que se produjo ese día, por lo tanto, se cuenta con un caudal promedio de 10.12 L/min.

Tabla 3-4: Medición del caudal en la segunda semana en la empresa “Mis Frutales”

CAUDAL TOTAL (L/min)						
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio
15:00	11,60	10,90	10,00	11,60	10,90	11,00
15:10	11,10	10,40	9,40	11,40	10,40	10,54
15:20	10,40	10,00	9,60	10,90	10,40	10,26
15:30	10,00	9,60	9,40	10,40	9,10	10,00
15:40	10,00	9,40	9,30	10,00	10,00	9,74
15:50	9,60	10,00	9,10	10,90	9,30	9,78
16:00	9,10	9,60	9,30	10,40	10,60	9,50
Total	10,26	9,99	9,44	10,80	10,10	10,12

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2022

En la Ilustración 4-4, se puede observar el caudal de la semana 2, en donde la mayor producción de agua residual se produce el día Jueves y esto se debe a que la producción de pulpas de frutas es alta, y esto se debe a que se trabajó con frutas como naranja que necesita ser lavada varias veces para asegurarse de la desinfección de la misma para elaborar el producto.

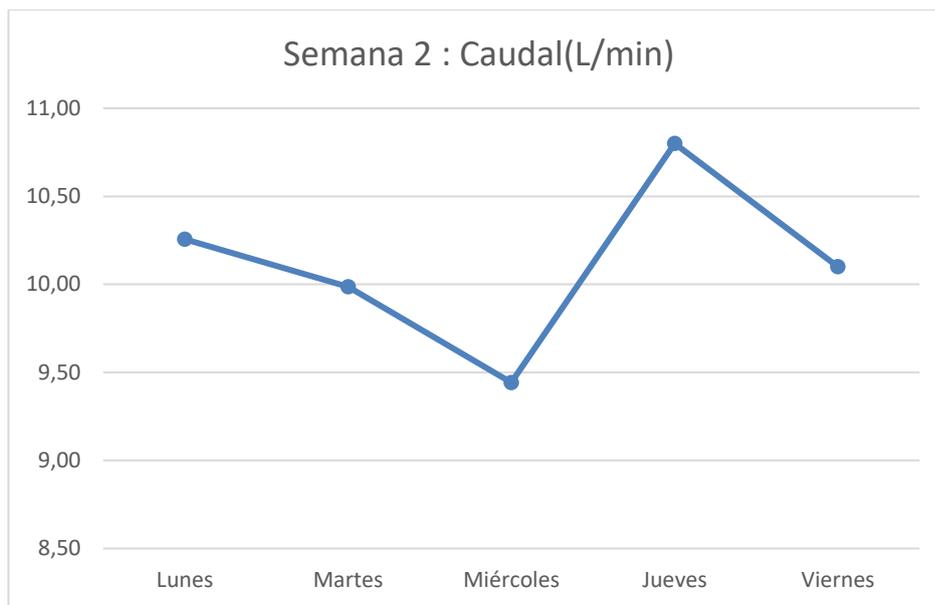


Ilustración 4-4: Variación del caudal diario en la segunda semana

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

4.3.3. Semana 3

En la tercera semana de medición de los caudales, se determinó que el día martes se presentó un valor de 13.36 L/min, y con un valor promedio de 10.39 L/min.

Tabla 4-4: Medición del caudal en la tercera semana en la empresa “Mis Frutales”

CAUDAL TOTAL (L/min)						
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio
15:00	11,10	14,30	11,40	10,00	11,10	11,58
15:10	11,90	14,30	10,00	9,80	9,60	11,12
15:20	11,60	13,90	10,40	9,40	9,40	10,94
15:30	10,90	13,20	10,00	9,10	9,60	10,56
15:40	10,40	12,80	9,40	8,10	9,10	9,96
15:50	10,00	12,50	9,10	7,70	7,40	9,34
16:00	9,80	12,50	7,80	7,70	8,30	9,22
Total	10,81	13,36	9,73	8,83	9,21	10,39

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

En la Ilustración 5-4, se aprecia que en la tercera semana de medición el día martes es el que mayor valor presenta en comparación a los demás, la variación se debe a la producción de pulpas de acuerdo al tipo de frutas que se está usando en ese día, se sabe que hay frutas que necesitan mayor desinfección debido a que se hace uso de las cascaras para la fruta como la mora que necesita ser lavada varias veces.

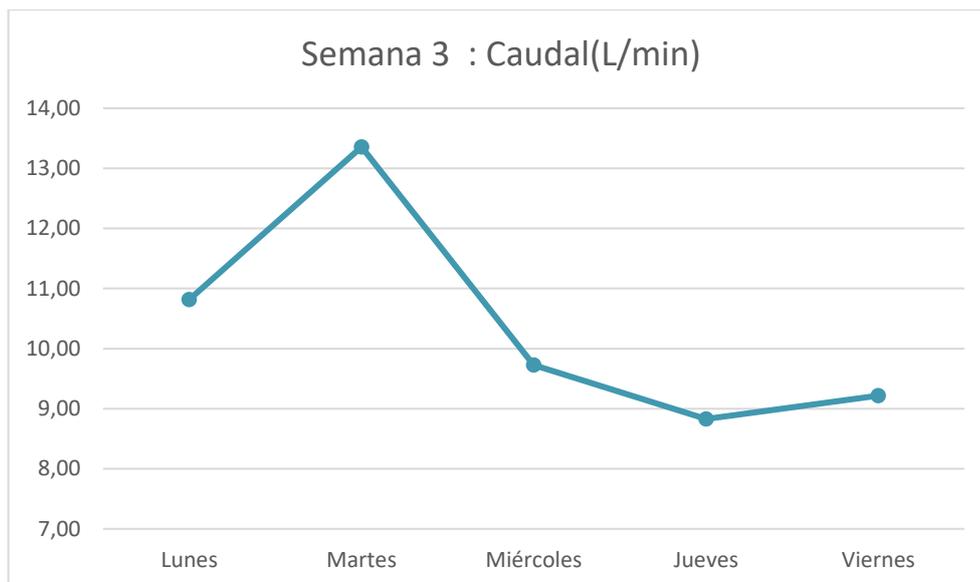


Ilustración 5-4: Variación del caudal de la tercera semana

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

4.3.4. Semana 4

En la cuarta semana de medición, el caudal promedio fue de 11.15 L/min, presentándose el día miércoles con mayor producción en la generación de agua residual con un valor de 11.39 L/min.

Tabla 5-4: Medición del caudal en la cuarta semana en la empresa “Mis Frutales”

CAUDAL TOTAL (L/min)						
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Promedio
15:00	12,50	14,30	12,50	11,10	12,00	12,48
15:10	12,50	13,50	12,50	10,00	11,00	11,90
15:20	11,10	12,80	11,90	11,10	10,40	11,46
15:30	10,40	12,50	12,20	15,20	9,40	11,94
15:40	10,00	11,10	11,60	12,50	9,10	10,86
15:50	10,00	11,10	11,10	9,40	8,30	9,98
16:00	9,80	10,90	10,00	8,50	8,10	9,46
Total	10,90	12,31	11,69	11,11	9,76	11,15

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

En la Ilustración 6-4, se puede observar que el caudal en los 5 días de medición permanece parcialmente constante, existe una leve variación del caudal, pero en comparación con las demás semanas es la que mayor caudal presenta, esto se debe al incremento en la producción de pulpas de frutas.

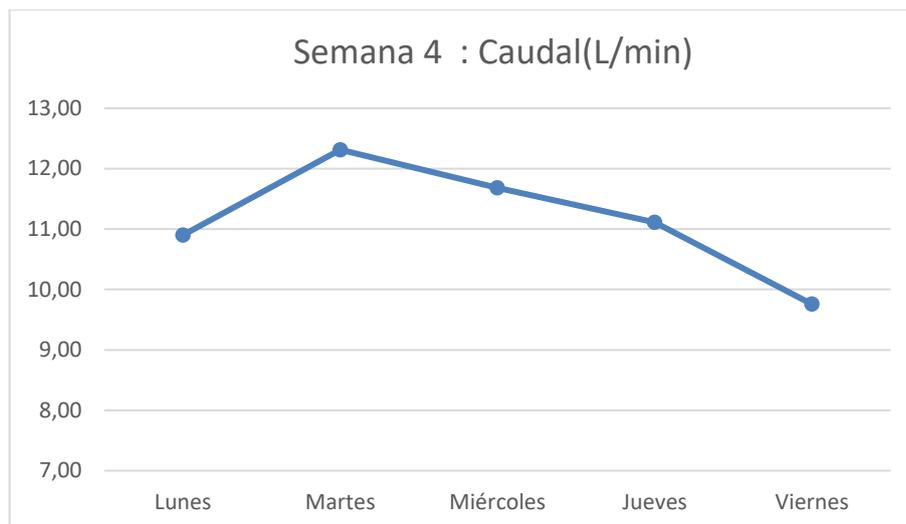


Ilustración 6-4: Variación del caudal en la cuarta semana.

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

4.3.5. Caudales promedio

El caudal promedio que presenta la empresa “Mis Frutales” de acuerdo a su nivel de producción, es de 10.58 L/min, obteniendo un caudal volumétrico de mayor descarga de 11.15 L/min en la cuarta semana de medición. El caudal varío de acuerdo a la producción de la empresa, debido a que al procesar pulpa de frutas se trabaja con diferente tipo de frutas que de cierta manera requieren un mayor proceso de lavado, debido a que se hace uso de la pulpa y de su cascara para procesar las mismas como la mora, y hay otras frutas como el coco, mango, guanábana donde la cascara no se usa y es desechada por lo cual, su desinfección no necesita de un gran consumo de agua.

Tabla 6-4: Caudal promedio en el periodo de medición en la empresa “Mis Frutales”

Medición	Caudal (L/min)
Semana 1	10.64
Semana 2	10.12
Semana 3	10.39
Semana 4	11.15
Total	10.58

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

De acuerdo al Ilustración 7-4, se puede observar que el caudal en la empresa varía constantemente y esto se debe al nivel de producción de la misma, por lo que no en todos los días se procesa la misma cantidad, por lo cual el caudal varía en cada semana de trabajo, existen ocasiones en donde su producción es elevada y otros en donde es mínima, y esta es la razón por la cual los caudales varían proporcionalmente.

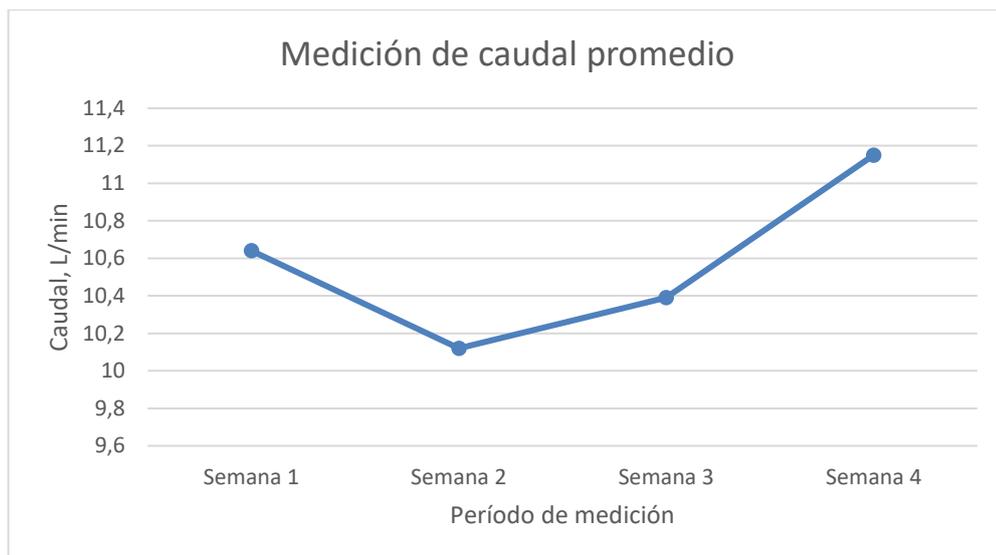


Ilustración 7-4: Variación del caudal promedio de la empresa “Mis Frutales”

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

4.4. Determinación de los parámetros físico- químico del agua residual

Para el análisis de las características físico-químicas de acuerdo a los valores encontrados en laboratorio se compara con los límites permisibles en la Tabla 8: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público del Libro VI, Anexo I del Acuerdo Ministerial 097 A.

La caracterización inicial de la muestra de agua residual se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad de Aguas en a la Facultad de Ciencias ESPOCH, posterior a la recolección de la muestra de agua residual con 24 horas de conservación.

Tabla 7-4: Caracterización inicial del agua residual

Parámetros	Unidad	Valor	Límites permisibles	Cumplimiento
Potencial de Hidrogeno	-	8.03	6-9	SI
Conductividad	mS/cm	1011	-	-
Turbiedad	NTU	123.2	-	-
Alcalinidad	mg/L	3.4	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	27.6	70.0	SI
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	mg/L	660.0	250.0	NO

Demanda Química de Oxígeno	mg/L	930.0	500.0	NO
Fósforo Total	mg/L	18.5	15.0	NO
Sulfuros	mg/L	128.0	1.0	NO
Sulfatos	mg/L	120.0	400.0	SI
Nitritos	mg/L	0.1	-	-
Nitratos	mg/L	18.0	-	-
Nitrógeno Total	mg/L	44.7	60.0	SI
Sólidos Sedimentables	mg/L	8.0	20.0	SI
Sólidos suspendidos totales	mg/L	20.0	220.0	SI
Sólidos Totales	mg/L	1088.0	16000.0	SI

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

De acuerdo a los resultados del análisis de la muestra compuesta de agua residual “Mis Frutales” se determinó que existen 4 parámetros que no cumplen con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 –A, Tabla 8; y estos son $DBO_5 = 660.0$ mg/L, $DQO = 930.0$ mg/L, Fosforo total = 18.5 mg/L y Sulfuros = 128.0 mg/L, de acuerdo a estos resultados obtenidos se determinó que los parámetros que se encuentran fuera del rango se debe a las mismas actividades productivas de la empresa en donde se realiza el lavado y desinfección de frutas donde por norma sanitaria se usa ciertos químicos para la desinfección de las máquinas y equipos, además los altos valores de DQO pueden generar el agotamiento del oxígeno en el agua. La presencia de sulfuros es notario debido a la generación de olor y esto se debe a la descomposición de la materia orgánica proveniente de las cascara y pulpas de las frutas que se usan en la empresa.

De acuerdo a información de propuestas de tratamientos de aguas residuales para una empresa procesadora de pulpas de frutas las aguas residuales generadas en la mayoría de casos incumple los parámetros, principalmente de sólidos suspendidos, sólidos suspendidos disueltos, pH, DQO y DBO, (Alfonso & Vargas, 2018), de esta manera corrobora el resultado obtenido dado que la empresa “Mis Frutales” incumple los 2 parámetros de DBO y DQO, en donde la calidad y cantidad de los efluentes combinados en la industria están muy relacionados con el proceso.

De acuerdo a la caracterización, se deberá de realizar los diferentes tipos de tratabilidad para disminuir la contaminación del agua residual de la empresa.

4.5. Discusión de resultado de análisis

En el presente proyecto técnico se describen parámetros de incumplimiento a la legislación ecuatoriana en relación a la calidad de agua, los cuales concuerdan con los resultados obtenidos en la investigación realizada por (Peralbo & Plaza, 2017) con la tesis titulada “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales en una industria procesadora de frutas y vegetales” de la ciudad de Guayaquil, en el cual, sus resultados muestran valores de DBO₅ con 1973 mg/L, DQO de 4310 mg/L, SST y pH que incumplen con los parámetros establecidos en la tabla 8 en el Anexo I TULSMA en donde se aplicó un tratamiento primario y secundario para dar cumplimiento a la normativa ambiental, por lo tanto en comparación a este proyecto los parámetros de incumplimiento también es DBO₅ con un valor de 660 mg/L y DQO de 930 mg/L que presentan valores altos, y esto se debe a que al trabajar con materia prima (frutas) se genera materia orgánica biodegradable inestable que necesita ser removida a través de un sistema de lodos activados, lo que concuerda con el sistema de tratamiento propuesto; la variabilidad de los datos depende principalmente por la ubicación de las empresas, debido a que al presentar diferentes condiciones de temperatura la tasa de consumo de oxígeno varían por lo cual DQO y DBO son elevados en dicha empresa, además esta variación en los resultados también depende de la capacidad productiva y las condiciones de generación de agua residual de cada una de las empresas.

Los efluentes de las plantas procesadoras de frutas varían dependiendo de la materia prima utilizada, el volumen procesado y la tecnología aplicada, por lo tanto, de acuerdo al artículo de (Alcarraz Curi & Ibche Mitma, 2010), titulada “Tratamiento de efluentes de una planta procesadora de pulpas de frutas”, en el cual los parámetros relevantes de investigación son el DBO y la turbidez valores que se encuentran en concentraciones elevadas para lo cual se aplicó un proceso de coagulación – floculación con sulfato de aluminio con un 80% de remoción, similar a lo realizado en esta investigación técnica en donde ambos parámetros presentaron valores elevados, por lo tanto, se aplicó a nivel de laboratorio la Prueba de Jarras con un diferente coagulante Policloruro de Aluminio con un nivel de remoción de 74.20 % obteniendo una reducción significativa de concentraciones. Los resultados presentan variabilidad debido a que en el artículo se procesaba únicamente mango en el momento de estudio, lo que difiere en el presente proyecto debido a que se procesaban diferentes frutas como mango, naranja, mora, fresa, coco y guayaba.

Los procesos ejecutados en cualquier empresa procesadora de frutas siguen el mismo principio de producción, por lo cual según (Vargas & Alfonso, 2018) con su tesis desarrollada en Bogotá en la empresa de alimentos “SAS” dedicada a la producción de pulpa de fruta detalla que los

valores de DQO y DBO son elevados y no cumple con límites permisibles en la legislación colombiana, presentando resultados similares al presente proyecto, donde ambos parámetros incumplen con la normativa y existe una relación directa, debido a que son alterados por el material orgánico generado en el proceso de lavado de las frutas, de la misma manera emplea como tratamiento primario un sistema de coagulación – floculación previo a la implementación de tratamientos biológicos, lo cual en cuanto al porcentaje de remoción considerando la producción alta es de 70% y en comparación con el presente mostro un resultado de 72.40% de remoción, lo cual indica que dicho sistema muestra resultados favorables de remoción de contaminantes.

Los valores encontrados en este trabajo técnico comparado con otras investigaciones de procesadoras de frutas presentan resultados similares en cuanto a los parámetros de incumplimiento en donde los más relevantes son el DBO, DQO, SST y turbidez, también en cuanto a los sistemas de tratamiento implementados para mejorar la calidad del recurso hídrico producido, desde esta perspectiva a pesar de que sus datos son semejantes existe variabilidad debido a criterios de producción independientemente de cada empresa y del tipo de frutas que procesan para su actividad.

4.5.1. Índice de biodegradabilidad

Para el proceso de depuración de aguas residuales, es de gran importancia establecer la relación que existe entre los parámetros de Demanda Química y Demanda Bioquímica de Oxígeno, este valor proporciona una idea clara de la capacidad que tendrá el agua para ser degradada por tratamientos Físico - químicos o biológicos. (Sánchez & García, 2018)

Tabla 8-4: Índice de biodegradabilidad

DQO/ DBO ₅	Tipo de biodegradabilidad	Tipo de tratamiento
< 1.5	Muy biodegradable	Materia orgánica muy degradable requiere tratamiento biológico
1.5 - 10	Biodegradable	Materia orgánica moderadamente biodegradable, puede ser un tratamiento físico-químico o biológico
> 10	Poco biodegradable	Materia orgánica poco degradable, requiere de un tratamiento físico-químico.

Fuente: Cisterna y Peña, 2015

Los resultados de los análisis iniciales de calidad de agua se lo muestran en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4: Resultados de calidad inicial de agua residual

pH	DQO	DBO₅	Relación DQO/ DBO₅
8.03	930 mg/L	660 mg/L	1.40

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

Los resultados encontrados, cumplen con lo esperado de acuerdo a otras investigaciones, los valores de DBO₅ y DQO son elevados, debido a la carga de materia orgánica y químicos presentes en las aguas de la empresa, con un valor de 1.40 de índice de biodegradabilidad, indica que se realice un tratamiento biológico para la reducción de la carga contaminante, y a la vez que se empleó un pre tratamiento físico – químico.

4.6. Prueba de tratabilidad

La elevada carga de contaminantes especialmente de DBO y DQO que se encuentran fuera de la normativa ambiental, nos da la pauta para realizar una prueba de tratabilidad para este tipo de aguas residuales empleando la conocida Prueba de Jarras.

4.6.1. Prueba de jarras

Esta prueba constituye la prueba de tratabilidad ejecutada para la empresa, debido a que de acuerdo al índice de biodegradabilidad para mejorar la calidad y tratar el agua se necesita de un proceso biológico, por lo cual, la operación unitaria de coagulación y floculación es óptima para tratar el agua, por lo cual se ejecutó prueba de jarras para determinar el mejor coagulante idóneo para el tratamiento.

4.6.1.1. Caracterización inicial

Tabla 10-4: Caracterización de la muestra de agua residual inicial

Descripción	pH	Turbiedad	Conductividad
Muestra de agua Residual	8.2	29.6 NTU	1118

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

4.6.1.2. Determinación de coagulantes y floculantes

Para la prueba se trabajó con 2 coagulantes comerciales con una misma concentración al 5%, en lo cual se empleó 2 dosificaciones como base de guía, para lo cual se colocó 10 mL y 5 bajo condiciones de mezcla rápida y lenta.

En la Tabla 11-4 se aprecia las condiciones establecidas para la Prueba de Jarras a través del coagulante Policloruro de Aluminio.

Tabla 11-4: Parámetros para el coagulante Policloruro de Aluminio

Coagulantes	Concentración	Velocidad	Tiempo
Policloruro de Aluminio	5 %	200 rpm	1 min
		25 rpm	10 min

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

En la Tabla 12-4 se aprecia las condiciones establecidas para la Prueba de Jarras a través del coagulante Sulfato de Aluminio.

Tabla 12-4: Parámetros para el coagulante Policloruro de Aluminio

Coagulantes	Concentración	Velocidad	Tiempo
Sulfato de Aluminio	5 %	200 rpm	1 min
		25 rpm	10 min

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

4.6.1.3. Resultados de la prueba de jarras

Tabla 13-4: Resultados de Prueba de Jarras con 2 coagulantes comerciales

Coagulante	Volumen (mL)	Dosis (ppm)	pH	Turbiedad (NTU)	Conductividad
Policloruro de Aluminio (5%)	10	100	7.1	2.7	1287
Policloruro de Aluminio (5%)	5	50	7.2	27.3	1162
Sulfato de Aluminio (5%)	10	100	6.4	18.5	1177
Sulfato de Aluminio (5%)	5	50	6.9	77.6	1135

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

En la Tabla 13-4, se describe los resultados de la prueba de jarras realizadas con 2 tipos de coagulantes con una concentración del 5% en solución, la turbiedad inicial fue de 29.6 NTU, al emplear Policloruro de Aluminio a 100 ppm se determinó que la turbiedad disminuyo notablemente a 2.7 NTU, y el mismo coagulante a 50 ppm disminuyo a 27.3 NTU, por otro lado al trabajar con sulfato de aluminio a 100 ppm su valor se redujo a 18.5 NTU y con una

concentración de 50 ppm su valor fue de 77.6 NTU, en comparación a los valores de turbiedad obtenidos se determinó el coagulante ideal y su dosis óptima, en relación al vaso de precipitación que a simple vista mostró disminución de turbidez y pH arrojando valores bajos, además de la presencia de color, por lo cual el Policloruro de aluminio a 100 ppm cumplió a cabalidad con este principio, debido a que su turbiedad disminuyó, su color fue parcialmente transparente y su pH disminuyó.

De tal manera, se determinó que el mejor coagulante para el proceso de depuración de agua residual de la empresa “Mis Frutales” es Policloruro de Aluminio al 5% con una concentración de 100 ppm, dado que se inició con una turbiedad de 29.6 NTU y después de la prueba presentó un valor de 2.7 NTU, lo que indica que es un excelente coagulante, con un valor de remoción de 90.9 % en dicha prueba, en comparación con los otros coagulantes.

El valor de pH disminuyó después de la prueba desde 8.2 a 7.1 usando Policloruro de Aluminio, esto se debe a la presencia de carga de iones proporcionado por los coagulantes químicos, considerando esto al emplear la prueba sigue cumpliendo con el Acuerdo Ministerial 097 A, Tabla 8: Límites para la descarga al alcantarillado que establece un valor de pH entre 6 a 8.

4.6.1.4. Determinación de la dosis óptima de Policloruro de Aluminio

Para la ejecución de la prueba de Jarras se trabajó con la muestra de agua residual con 123.2 NTU desde el cual se consideró el % de remoción, a través de la observación directa del cambio de color y de la medición de turbiedad.

La dosis para cada repetición fue de 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 mL a una concentración del 5% como se muestra en la Tabla 19-4. Los parámetros considerados para el análisis fueron los siguientes:

- a) Mezcla rápida en un gradiente de velocidad de 200 s^{-1} por 1 minuto.
- b) Floculación en un gradiente de velocidad de 25 s^{-1} por 10 minutos
- c) Tiempo de sedimentación de 30 minutos



Ilustración 8-4: Prueba de Jarras con Policloruro de Aluminio y muestras tratadas finales

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

En la Figura 8-4 se puede apreciar la ejecución de la Prueba de Jarras en laboratorio, de tal manera se observa la variación de turbidez de la muestra, por lo tanto, a simple vista presenta un color aparente significativo, por lo cual su valor de turbidez es alto; posterior a la prueba en donde se usó un coagulante químico comercial el color disminuye totalmente obteniendo un agua parcialmente clarificada lo que muestra que el coagulante empleado es idóneo para tratar dicha agua como se muestra en los siguientes resultados.

Tabla 14-4: Test de Jarras con la dosificación de Policloruro de Aluminio al 5%

Dosis (ppm)	Turbiedad Inicial (NTU)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
60	123.2	13.2	89.29
70		9.60	92.21
80		5.07	95.88
90		3.32	97.30
100		4.20	96.60
110		8.70	92.94
120		7.50	93.91

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

En la curva correspondiente a la Prueba de Jarras, se observa que la dosis óptima de coagulante Poli cloruro de Aluminio está en un valor de 90 a 100 ppm con una concentración del 5%, en la cual la curva se torna asintótica dando como valor óptimo una concentración de 90 ppm como se aprecia en la Ilustración 9-4. Dentro de este rango, la remoción de turbidez presenta un valor de 97.30%, lo cual indica que el proceso es eficiente para ser empleado en el sistema de tratamiento.

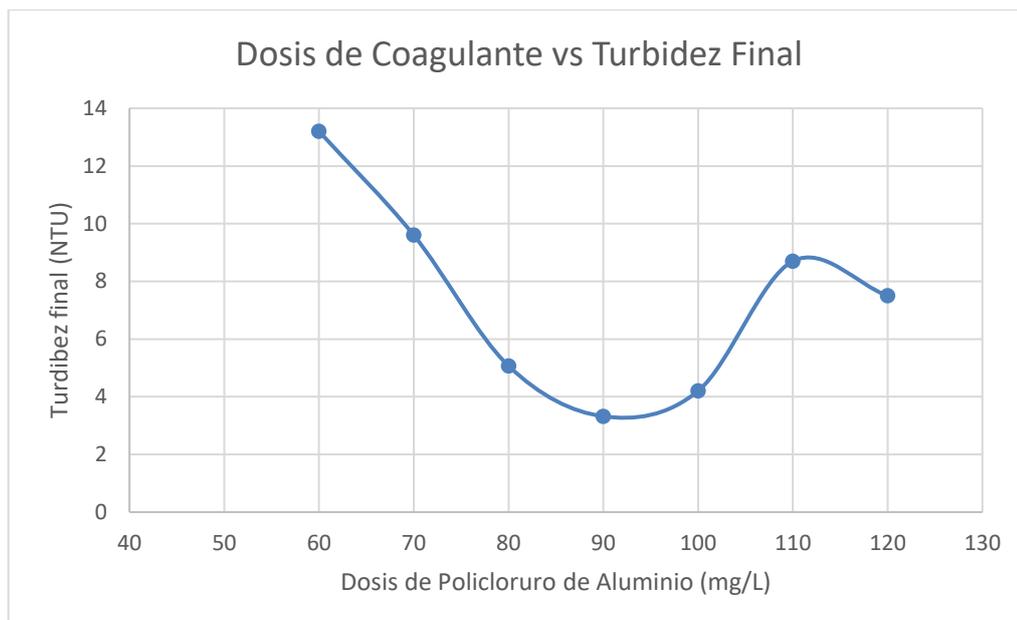


Ilustración 9-4: Resultados de la prueba de jarras con Policloruro de Aluminio 5%

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

Con respecto al pH, la adición de coagulante no ocasiona una disminución significativa en el valor inicial, de tal manera que el pH final medido al final de la prueba, está dentro del rango considerado como de remoción eficiente de turbidez que establece un pH = 6.00 -7.80.

4.6.1.5. Gradiente de velocidad: prueba de jarras

El gradiente de velocidad es un factor primordial e importante para determinar el contacto entre las partículas y la generación de flóculos que decanten. De tal manera, al trabajar con valores demasiados altos de gradiente de velocidad se dificulta la formación de flóculos estables debido a que por el cizallamiento mecánico los destruyen, por otra parte, cuando se trabaja con valores bajos el proceso de floculación es detenida y no se completa, afectando posteriormente a la sedimentación y filtración. Normalmente los valores aceptados como adecuados para un gradiente de velocidad adecuada se encuentran en el rango de 100 a 10 s^{-1} . (Alonzo, 2022)

De acuerdo a lo descrito, se determinó que los parámetros establecidos para la prueba cumplen con las condiciones óptimas debido a que para la coagulación se realizó a una velocidad alta de 200 s^{-1} y el de floculación de 10 s^{-1} en la prueba de laboratorio, lo que llevo a una buena eficiencia del proceso.

4.7. Dimensionamiento de la planta de tratamiento

4.7.1. Propuesta del sistema a aplicar

El proceso de tratamiento propuesto, obedece a un proceso biológico de acuerdo al índice de biodegradabilidad, para los cual se propone un sistema de coagulación- floculación y lodos activados, para obtener una mayor eficiencia del proceso, además que se considera la factibilidad tanto técnica, económica y ambiental de poder ser implementada. Estos sistemas se proponen con la finalidad de disminuir la cantidad de DBO y DQO presente en el agua residual, además de la disminución de sulfuros con el proceso de coagulación en la variación de pH para validar el proceso, además que el mismo proceso ayuda a la disminución de fosforo total que con una precipitación complementa el proceso, lo que cumple esta operación de coagulación – floculación en donde los sólidos sedimentan posteriormente al someterse a la prueba. (Ortiz Penagos, et al., 2018)

Por lo tanto, el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales elegido para la empresa “Mis Frutales” consta básicamente de 5 etapas como se muestra en la Ilustración 10-4:

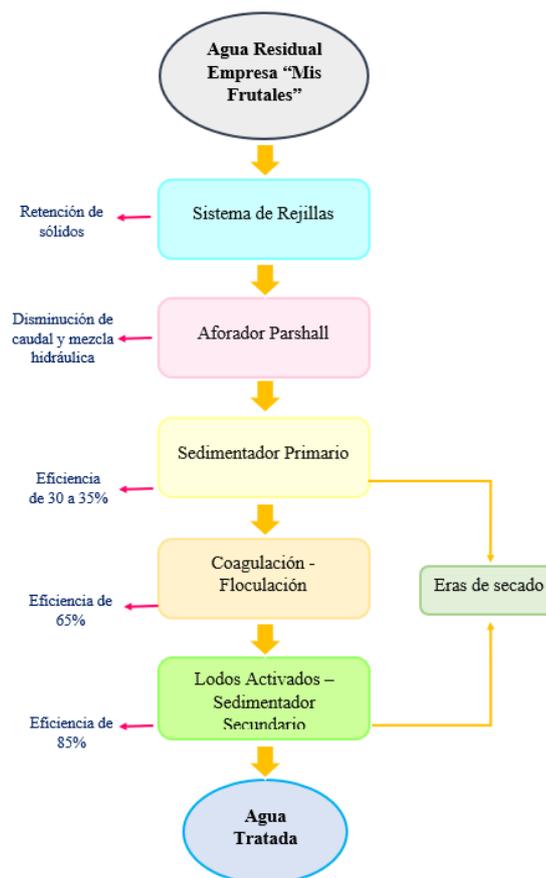


Ilustración 10-4: Sistema de PTARI Propuesto

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

Para validar el sistema propuesto en donde se implementa un proceso de coagulación – floculación, se empleó una prueba de tratabilidad como el Test de Jarras para determinar el coagulante ideal para el proceso de tratamiento del agua residual de la empresa, lo mismo que fue corroborado con un análisis final del agua tratada.

El agua tratada puede ser descargada hacia el sistema de alcantarillado o a la vez puede ser reutilizado para tareas de limpieza de pisos en la empresa o de posible riego de la parte de la zona de plantas, en el caso de que la empresa opte por aquello se podría recomendar una cloración adicional para la desinfección del agua. El sistema propuesto puede ser implementado por diferentes etapas que deben ser monitoreadas, para tener un adecuado control del proceso y sistemas de limpieza y mantenimiento.

4.7.2. Caudal de diseño

De acuerdo a los datos obtenidos en campo se realizó la medición del caudal de agua residual que presenta la empresa “Mis Frutales”, es de 10.6 L/min o 0.0002 m³/s, para lo cual se considera un margen de seguridad de un 15 a 20% para evitar fallas por falta de espacio en los tratamientos a implementar donde el valor óptimo para el factor de seguridad es de 1.15 representando un 15% de acuerdo a criterios técnicos para el dimensionamiento de la PTAR.

$$\begin{aligned}Q_d &= Q_c + Q_c * FS \\Q_d &= 0.0002 \text{ m}^3/\text{s} + (0.0002 \text{ m}^3/\text{s} * 1.15) \\Q_d &= 0.0004 \text{ m}^3/\text{s} \\Q_d &= 22.79 \text{ L}/\text{min} \\Q_d &= 32.8 \text{ m}^3/\text{dia}\end{aligned}$$

El caudal de diseño para la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Mis Frutales” corresponde a 32.8 m³/d para el dimensionamiento de cada uno de los componentes de acuerdo a los datos de campo medidos y su respectiva proyección.

4.7.2.1. Caudal proyectado de diseño

La producción de la empresa “Mis Frutales” está enfocada a la producción de pulpas de frutas para lo cual es necesario conocer la cantidad de pulpas procesadas y el agua residual generada durante el proceso, dicha información es obtenida por la propietaria de la empresa como se detalla a continuación:

Tabla 15-4: Producción y agua residual de la empresa “Mis Frutales”

Producto	Producción actual (# pulpas/día)	Agua Residual (L/min)	Producción proyectada (# pulpas /día)
Pulpa de Frutas	1200	10.58	2500

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

Por cuestiones de dimensionamiento la producción de la empresa es proyectada para un periodo de 10 años, considerando la máxima capacidad de la planta, a la vez que depende del crecimiento del mercado para la producción que se requiera proyectar de acuerdo a la información proporcionada por la contadora de la empresa.

$$Q_d = P * D$$
$$Q_d = 2500 \frac{\text{pulpas}}{\text{dia}} * \frac{10.58 \text{ L/min}}{1200 \frac{\text{pulpas}}{\text{dia}}}$$
$$Q_d = 22.04 \text{ L/min}$$

Obteniendo el caudal de diseño de acuerdo al nivel de producción por día es igual a:

$$Q_d = 31.7 \text{ m}^3/\text{dia}$$
$$Q_d = 0.00037 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el presente trabajo técnico, se trabajará con el caudal de diseño de 32.8 m³/día para el diseño de los componentes de la planta de tratamiento, por la razón, que, al considerar el caudal proyectado por el nivel de producción, la empresa proporcione un valor proyectado estimado debido a que el incremento depende de la economía del mercado, y de cierta manera la diferencia entre ambos no es significativa.

De esta manera, se puede validar la información de campo que muestra un caudal de diseño de 32.8 m³/día, y, por otro lado, está el caudal de manera teórica de acuerdo al nivel de producción de la empresa que presenta un valor de 31.7 m³/día, si comparamos entre los dos valores se puede apreciar que existe una variación no tan significativa en cuanto a los caudales se proyectaron desde la medición y el que se proyecta de acuerdo a la capacidad productiva de la empresa. Por lo cual el caudal de diseño se considera para el proyecto el definido por trabajo de campo para cada uno de los componentes, esto se debe a que la empresa no mostrara un crecimiento en cuanto a infraestructura debido a que no cuenta con espacio a su alrededor para extenderse y que, a la vez, su producción dependerá de la demanda del mercado por lo cual de acuerdo a eso incrementara su nivel productivo.

Por otro lado, en el presente proyecto técnico, sus resultados de medición de caudal fueron validados de dos formas tanto teórico como práctico, se puede apreciar que los dos caudales de un valor de 31.7 m³/día y 32.8 m³/día respectivamente, son valores que se acercan entre sí, lo cual valida que la cantidad de agua residual por día generados en los horarios de mayor generación aumentaran de acuerdo a el nivel de producción que se proyecta como empresa. La variabilidad entre los datos a pesar de que es poca existe, y esto se debe a que la empresa al proyectarse en un periodo de 10 años, su producción puede disminuir por la competencia en el mercado por lo cual su generación de aguas residuales disminuirá, a diferencia de lo que actualmente se realizó en campo y proyecto, se conoce que la empresa tiene una buena producción en el mercado que cubre la demanda de pedidos, es por eso que la variabilidad de los caudales es parcialmente significativa.

4.8. Dimensionamiento

4.8.1. Canal de acercamiento

Para dimensionar el canal de entrada a la planta de tratamiento de agua residual se conoce que se conduce un caudal de 0.0004 m³/s.

- **Área del canal, A**

La velocidad con la que se debe de trabajar de acuerdo a los parámetros de diseño establece de 0.6 m/s a 6 m/s; para el presente trabajo se selecciona una velocidad de 0.8 m/s que se encuentra dentro del rango establecido.

$$Q = vA$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}}{0.8 \text{ m/s}} = 0.0005 \text{ m}^2$$

De acuerdo a los parámetros de diseño se establece dos condiciones de diseño: B= H o la condición óptima B = 2H; para el presente trabajo se establece la relación B = H.

El área de acuerdo a la geometría rectangular del canal establece de acuerdo a la relación que B = H

$$A = B \times h$$

$$A = h^2$$

$$h = \sqrt{A}$$

$$h = \sqrt{0.0005 \text{ m}^2}$$

$$h = 0.022 \text{ m}$$

Este valor corresponde a la altura efectiva del canal de H= 0.022 m.

- **Altura del canal, H**

De acuerdo a la FAO en el documento de Estructuras de Conducción de Agua, el canal de entrada debe de tener un borde libre de 0.10 m a 0.30 m, para el presente proyecto se considera un valor de 0.20 m.

$$H = h + h_s$$

$$H = 0.022 \text{ m} + 0.20 \text{ m}$$

$$H = 0.22 \text{ m}$$

Para fines de construcción se considera un valor de 0.25 m como altura del canal.

4.8.2. *Rejillas*

Para dimensionar correctamente el sistema de rejillas se sigue los parámetros de diseño, para evitar errores en el mismo.

Tabla 16-4: Parámetros de diseño para el sistema de rejillas o tamices

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Ancho del canal en cm	B	40,50,60,80,100	cm
Separación entre barras	e	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10	cm
Ángulo de inclinación	θ	30 a 60	°
Velocidad	V	0,6 m/s a 3 m/s	m/s
Pérdida de carga, cm	h	6 a 15	cm

Fuente: (Norma RAS,2000)

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

- **Dimensionado del canal**

Para lo cual podemos escoger una velocidad de 0,6 a 3 m/s. Para el diseño se asume que la $v = 1\text{m/s}$, debido a que se encuentra dentro de los límites permisibles, y de esta manera evitar que se acumule material orgánico en estas zonas se acelera la velocidad.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$1 \text{ m/s} = \frac{1}{0,011} \left(\frac{0,50 \text{ m} * 0,25 \text{ m}}{(0,25 \text{ m} * 2) + 0,5 \text{ m}} \right)^{2/3} S^{1/2}$$

$$S = 0.0019 = 0.2\%$$

- **Área transversal y la altura del canal**

Estos valores se asumen de acuerdo a las dimensiones de ancho del canal del aforador Parshall y la Altura de acuerdo al canal de acercamiento.

B: ancho del canal = 0.50 m

H: alto del canal = 0.25 m

- **Cálculo de barras**

Para el cálculo de los barrotes se definen los parámetros de diseño con los que se van a trabajar de acuerdo al tipo de sólidos presente en el agua residual.

Material: Acero liso

Espesor: 2,5 cm

Geometría: Circular

Separación: 2 cm

Angulo de inclinación: 45°

Para el cálculo del número de barrotes se considera el ancho del canal y el espesor y separación entre cada uno de ellos.

$$N_b = \frac{B}{S + e} = \frac{50 \text{ cm}}{2,5 \text{ cm} + 2 \text{ cm}} = 11.1 \text{ barrotes}$$

Para el diseño del sistema de rejillas se considera que se colocaran 11 barrotes dentro del canal. De tal forma, se diseñan los barrotes de acero liso, con la finalidad de que los sólidos que vienen en la agua residual se queden incrustados en las rejillas y solo pueda pasar el líquido, el espesor de los barrotes de 2,5 cm con una geometría circular para poder mejorar la circulación de los efluentes, y se coloca una separación de 2 cm para evitar que se acumulen los sólidos, finalmente cuenta con ángulo de inclinación de 45° para que pueda un proceso de transferencia de líquidos rápido al contar con un ángulo con buena inclinación, de acuerdo a la Norma RAS.

- **Dimensiones de los barrotes**

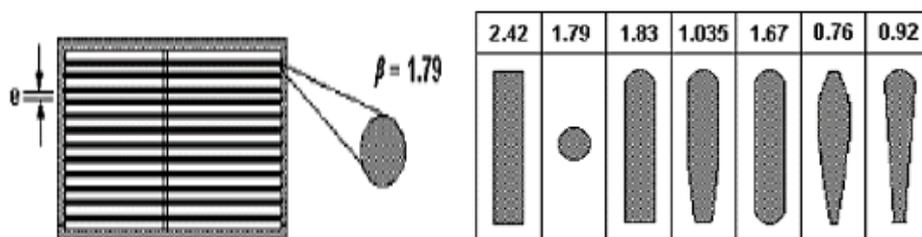
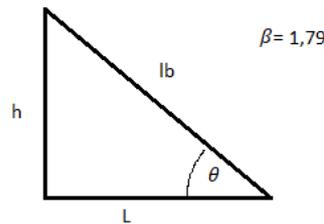


Ilustración 11-4: Factor de forma de rejillas para β con acero liso

Fuente: Hazen & Sawyer, 2011

$\beta = 1,79$, esto depende del tipo de material con el cual se construye los barrotes y la forma que se designa, en este caso es acero liso y forma circular.



- **Largo del barrote**

$$\cos 45^\circ = \frac{L}{lb}$$

$$lb = \frac{0,25 \text{ m}}{\cos 45^\circ} = 0,35 \text{ m}$$

El largo de los barrotes de la rejilla es de 35 cm de largo.

- **Largo de inclinación del barrote.**

En cuanto al cálculo del largo de inclinación de los barrotes de las rejillas se determina que es menor que el largo del barrote en forma horizontal.

$$\operatorname{tg} 45^\circ = \frac{H}{L}$$

$$L = \frac{0,25 \text{ m}}{\operatorname{tg} 45^\circ} = 0,25 \text{ m}$$

El largo de inclinación de los barrotes es de 0,25 m.

- **Perdida de carga**

Este parámetro establece un rango de 6-15 cm de pérdida de carga para establecer un adecuado diseño del sistema de rejillas.

$$h = \beta \left(\frac{s}{\text{espesor}} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{V^2}{2g} \right) \operatorname{sen} \theta$$

$$h = (1,79) \left(\frac{0,025 \text{ m}}{0,02 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{(1 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} \right) \operatorname{sen} 45^\circ$$

$$h = 0,086 \text{ m}$$

La pérdida de carga en el sistema de rejillas es de 8.6 cm, lo que conlleva a describir que el sistema de rejillas es óptimo para tratar el agua residual de la empresa “Mis Frutales”

4.8.3. Aforador Parshall

- Ancho de garganta, W**

De acuerdo a la Tabla de dimensiones y capacidad de canales Parshall como se muestra en la Ilustración 12-4 para distintos anchos de garganta, se selecciona el valor del ancho de garganta, W, que cumpla con las condiciones de diseño del sistema Parshall, esto se logró después de varias interacciones de prueba y error. Así se considera un valor de:

$$W = 2.5 \text{ cm}$$

	W		A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Capacidad (L/s)		
	ft	cm															Mín.	Máx.	
1"	2.5	36.3	35.6	9.3	16.8	22.9	7.6	20.3	1.9	2.9									
3"	7.6	46.6	45.7	17.8	25.9	38.1	15.2	30.5	2.5	5.7	41	30	77	2	4		0.85	53.8	
6"	15.2	62.1	61	39.4	40.3	45.7	30.5	61	7.6	11.4	41	30	90	5	8		1.52	110.4	
9"	22.9	88	86.4	38	57.5	61	30.5	45.7	7.6	11.4	41	30	108	5	8		2.55	251.9	
1'	30.5	137.2	134.4	61	84.5	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	149	5	8		3.11	455.6	
1 ^{1/2} '	45.7	144.9	142	76.2	102.6	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	168	5	8		4.25	696.2	
2'	61	152.5	149.6	91.5	120.7	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	185	5	8		11.9	936.7	
3'	91.5	167.7	164.5	122	157.2	91.5	61	91.5	7.6	22.9	51	38	222	5	8		17.3	1426	
4'	122	183	179.5	152.5	193.8	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	271	5	8		36.8	1922	
5'	153	198.3	194.1	183	230.3	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	308	5	8		62.8	2422	
6'	183	213.5	209	213.5	266.7	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	344	5	8		74.4	2929	
7'	214	228.8	224	244	303	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	381	5	8		115	3440	
8'	244	244	239.2	274.5	340	91.5	61	91.5	7.6	22.9	61	46	417	5	8		131	3950	
10'	305	274.5	427	366	475.9	122	91.5	183	15.3	34.3							200	5660	

Ilustración 12-4: Dimensiones y Capacidad de canales Parshall

Fuente: Informe de Diseño Conceptual, Embalses Multipropósito Cuenca Santa María, 2017

- Altura del tirante de agua, Ha**

$$Q = S (H_a)^n$$

$$\frac{Q}{S} = (H_a)^n$$

$$(H_a)^{1.38} = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}}{0.048}$$

$$H_a = 0.031 \text{ m}$$

- Ancho del canal en la sección de medición, D'**

* Los valores de D y W revisar en la Figura 23-4.

$$D' = \frac{2}{3}(D - W) + W$$

$$D' = \frac{2}{3}(0.168 \text{ m} - 0.025 \text{ m}) + 0.025 \text{ m}$$

$$D' = 0.120 \text{ m}$$

- **Velocidad en la sección de medición, V_o**

$$v_o = \frac{Q}{D' * H_a}$$

$$v_o = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.12 \text{ m} \times 0.031 \text{ m})}$$

$$v_o = 0.11 \text{ m/s}$$

- **Caudal específico, q**

$$q = \frac{Q}{W}$$

$$q = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}}{0.025 \text{ m}} = 0.016 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$$

- **Carga hidráulica disponible, E_o**

* El valor de N revisar en la Figura 23-4.

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_a + N$$

$$E_o = \frac{(0.11 \text{ m/s})^2}{2(9.8 \text{ m/s}^2)} + 0.031 \text{ m} + 0.029 \text{ m}$$

$$E_o = 0.061 \text{ m}$$

- **Velocidad antes del resalto, v_1**

$$v_1 = 2 \sqrt{\frac{2}{3} g E_o \cos\left(\frac{\beta}{3}\right)}$$

$$v_1 = 2 \sqrt{\frac{2}{3} (9.8 \text{ m/s}^2) (0.061 \text{ m}) \cos\left(\frac{128.64^\circ}{3}\right)}$$

$$v_1 = 0.92 \text{ m/s}$$

- **Altura antes del resalto hidráulico, H_b**

$$H_b = \frac{q}{v_1}$$

$$H_b = \frac{\frac{0.016 \text{ m}^3}{\text{s}} \cdot \text{m}}{0.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$H_b = 0.017 \text{ m}$$

- **Porcentaje de sumergencia, S**

$$S = \frac{H_b}{H_a} * 100$$

$$S = \frac{0.017 \text{ m}}{0.031 \text{ m}} * 100$$

$$S = 54.84 \%$$

El valor de 54.84% es **VÁLIDO** para el dimensionamiento de Parshall debido a que cumple con los parámetros óptimos de diseño, que establece un valor de $S \leq 70 \%$ para evitar el ahogamiento.

- **Número de Froude, Fr**

El número de Froude se calcula para conocer el tipo de flujo que presenta el fluido en este caso es un flujo supercrítico.

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{g * H_b}}$$

$$Fr = \frac{0.92 \text{ m/s}}{\sqrt{9.8 \text{ m/s}^2 * 0.017 \text{ m}}}$$

$$Fr = 2.25$$

El valor de número de Froude de 2.25 es **VÁLIDO** dado que se encuentra dentro del rango establecido con valores entre 2 -3.

- **Altura del resalto hidráulico, H₂**

$$H_2 = \frac{H_b}{2} (\sqrt{1 + 8 Fr^2} - 1)$$

$$H_2 = \frac{0.017 \text{ m}}{2} (\sqrt{1 + 8 (2.25)^2} - 1)$$

$$H_2 = 0.047 \text{ m}$$

- **Velocidad en resalto hidráulico, v₂**

El valor de velocidad en el resalto hidráulico tiende a bajar y generar turbulencia. La velocidad baja debido a que se recupera el flujo después de generar la turbulencia.

$$v_2 = \frac{Q}{W H_2}$$

$$v_2 = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.025 \text{ m})(0.047 \text{ m})}$$

$$v_2 = 0.34 \text{ m/s}$$

- **Altura en la sección de salida, H₃**

* Los valores de N y K revisar en la Figura 23-4

$$H_3 = H_2 - (N - k)$$

$$H_3 = 0.047 \text{ m} - (0.029 \text{ m} - 0.019 \text{ m})$$

$$H_3 = 0.037 \text{ m}$$

- **Velocidad en la sección de salida, v_3**

* El valor de C revisar en la Figura 23-4

$$v_3 = \frac{Q}{C H_3}$$

$$v_3 = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}}{0.093 \text{ m} \times 0.037 \text{ m}}$$

$$v_3 = 0.12 \text{ m/s}$$

- **Pérdida de carga del canal Parshall, h_p**

* El valor de k revisar en la Figura 23-4

$$h_p = H_a + k - H_3$$

$$h_p = 0.031 \text{ m} + 0.019 \text{ m} - 0.037 \text{ m}$$

$$h_p = 0.013 \text{ m}$$

- **Tiempo de retención, T**

* El valor de G revisar en la Figura 23-4

$$T = \frac{2 G}{v_2 + v_3}$$

$$T = \frac{2 \times 0.203 \text{ m}}{0.34 \text{ m/s} + 0.12 \text{ m/s}}$$

$$T = 0.89 \text{ s}$$

- **Gradiente de velocidad, G**

Se aplica la siguiente ecuación en donde los valores de densidad y viscosidad cinemática depende de la temperatura de la zona en donde se encuentra ubicada la empresa “Mis Frutales” correspondiente a la parroquia rural de San Luis que de acuerdo al PDYOT del lugar cuenta con un valor promedio de 14° C e igual se corrobora con la medición en campo, de tal manera, los valores de u y p son revisados en tablas de referencia.

$$G = \sqrt{\frac{h_p g \rho}{\mu T}}$$

$$G = \sqrt{\frac{(0.013 \text{ m})(9.8 \text{ m/s}^2)(999.33 \text{ kg/m}^3)}{(1.17 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})(0.89 \text{ s})}}$$

$$G = 355.05 \text{ S}^{-1}$$

El valor del gradiente de velocidad de 355.05 S^{-1} es **VÁLIDO** dado que se encuentra dentro de los límites establecidos como parámetros de diseño que está en un rango de 400 – 1300 S^{-1}

4.8.4. Sedimentador primario

De acuerdo a Metcalf & Eddy, 1995, el valor de carga superficial establece un valor de 35-120 $m^3/m^2 d$ como parámetro de diseño, para el presente proyecto se selecciona una carga superficial de $50 m^3/m^2 d$.

- **Área superficial, A_s**

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$
$$A_s = \frac{32.8 m^3/d}{50 m^3/m^2 d} = 0.65 m^2$$

- **Dimensiones del tanque de sedimentación**

Se establece una relación directa de $L/B = 3-5$, para el presente dimensionamiento se considera un valor de $L/B = 3$.

$$A_s = L * B$$
$$A_s = 3B * B$$
$$B = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$
$$B = \sqrt{\frac{0.65 m^2}{3}} = 0.5 m$$
$$L = 3 B$$
$$L = 3 (0.5 m) = 1.5 m$$

- **Volumen del sedimentador, V**

De acuerdo a Metcalf & Eddy, 1995 para que se produzca un proceso de sedimentación se establece un parámetro de diseño de 1 – 3 horas, para el presente se considera el valor 1 hora como referencia de acuerdo al análisis realizado en laboratorio para determinar sólidos sedimentables.

$$V = Q * TRH$$
$$V = 0.0004 m^3/s * (1 hora)$$
$$V = 1.44 m^3$$

- **Altura útil, H**

$$H = \frac{V}{A_s}$$
$$H = \frac{1.44 m^3}{0.5 m * 1.5 m} = 1.9 m$$

- **Altura de lodos, h_l**

$$h_l = L \operatorname{tag} \theta$$

$$h_l = 1.5 \text{ m} \quad (0.10)$$

$$h_l = 0.15 \text{ m}$$

La altura total del sedimentador primario es de 2.05 m.

- **Ancho del canal de entrada, b**

Área del canal, A

Para que los sólidos puedan sedimentar deben de ingresar con una velocidad baja entre 0.3 a 1 m/s.

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

$$A = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}}{(0.3 \text{ m/s})} = 0.0013 \text{ m}^2$$

Ancho del canal, b

$$b = \sqrt{A}$$

$$b = \sqrt{0.0013 \text{ m}^2}$$

$$b = 0.04 \text{ m}$$

4.8.5. Coagulación-Floculación

4.8.5.1. Tanque de coagulación

- **Volumen del tanque de coagulación, V_t**

Para conocer el volumen del tanque se debe de considerar el tiempo de retención que va a permanecer dentro del tanque, para lo cual se considera un tiempo de 60 min.

Tabla 17-4: Parámetros de diseño del tanque de coagulación

Parámetro	Valor	Unidad
Gradiente de velocidad	500 - 1000	S ⁻¹
Tiempo de retención	1 - 60	min
Relación Geométrica (a)	3	-
Relación Geométrica (b)	3.5	-

Fuente: Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992, p. 86.

$$V_t = Q_{max} * Trh$$

$$V_t = 0.0004 \text{ m}^3/\text{s} * 3600 \text{ s}$$

$$V_t = 1.44 \text{ m}^3$$

- **Diámetro de la cámara de coagulación, DT**

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * V * a}{\pi * b}}$$

$$DT = \sqrt[3]{\frac{4 * 1.44 \text{ m}^3 * 3}{\pi * 3.5}}$$

$$DT = 1.16 \text{ m}$$

- **Profundidad de la cámara de mezcla**

$$H = b * \frac{DT}{a}$$

$$H = 3.5 * \frac{1.16 \text{ m}}{3}$$

$$H = 1.35 \text{ m}$$

- **Diámetro de la turbina, D**

$$D = \frac{DT}{a}$$

$$D = \frac{1.16 \text{ m}}{3}$$

$$D = 0.40 \text{ m}$$

- **Anchura de los deflectores, W_d**

$$W_d = \frac{D}{10}$$

$$W_d = \frac{0.40 \text{ m}}{10}$$

$$W_d = 0.04 \text{ m}$$

4.8.5.2. Diseño de las paletas del tanque de coagulación

- **Gradiente de velocidad del fluido, G**

En el laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, se determinó mediante la prueba de jarras una agitación aproximada de 200 revoluciones por minutos, con lo cual se deduce que es la velocidad (n) eficiente para el proceso.

$$G = 0.25 * n^{1.25}$$

$$G = 0.25 * (200)^{1.25}$$

$$G = 188.03 \text{ S}^{-1}$$

- **Potencia disipada de la mezcla, P**

$$P = G^2 * \mu * V$$

$$P = (188.03 \text{ S}^{-1})^2 * (1.17 * 10^{-3} \text{ Ns/m}^2) * (1.44 \text{ m}^3)$$

$$= 59.57 \text{ Watt} * \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ Watt}} = 0.08 \text{ HP}$$

- **Diámetro del impulsor, d_i**

$$d_i = \frac{1}{3} * \emptyset$$

$$d_i = \frac{1}{3} * (1.16 \text{ m})$$

$$d_i = 0.40 \text{ m}$$

- **Altura del impulsor respecto al fondo, H_i**

$$H_i = d_i$$

$$H_i = 0.40 \text{ m}$$

- **Anchura de las palas del impulsor**

$$q = \frac{1}{5} * d_i$$

$$q = \frac{1}{5} * (0.40 \text{ m})$$

$$q = 0.08 \text{ m}$$

- **Longitud de las paletas del impulsor montadas en el disco central, L_p**

$$L_p = \frac{1}{8} * d_i$$

$$L_p = \frac{1}{8} * (0.40 \text{ m})$$

$$L_p = 0.05 \text{ m}$$

- **Longitud de las paletas del impulsor, L_{pi}**

$$L_{pi} = \frac{1}{4} * d_i$$

$$L_{pi} = \frac{1}{4} * (0.40 \text{ m})$$

$$L_{pi} = 0.10 \text{ m}$$

- **Diámetro del disco central, S**

$$S = \frac{1}{4} * \emptyset$$

$$S = \frac{1}{4} * (1.16 \text{ m})$$

$$S = 0.30 \text{ m}$$

- **Velocidad de rotación, N**

La cantidad de revoluciones por minuto que se van a producir dentro del tanque para producir una mezcla rápida, por lo cual es necesario elegir el impulsor a implementar, en este proyecto se selecciona la Turbina de 6 palas planas con una constante de mezclado $K=71$

Tabla 18-4: Valores de K para las necesidades de energía de mezclado

Impulsor	Régimen Laminar
Hélice, paso cuadrado, 3 palas	41
Hélice, paso de dos, 3 palas	43.5
Turbina, 6 palas planas	71
Turbina, 6 palas curvas	70
Turbina ventilador, 6 palas	70
Turbina, 6 palas en punta de flecha	71
Paleta plana, 6 palas	36.5
Turbina cerrada, 2 palas curvas	97.5
Turbina cerrada con estator (sin deflectores)	172.5

Fuente: (Metcalf & Eddy, INC, 1998) , p.246

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * d^5}}$$

$$N = \sqrt[3]{\frac{(59.57 \text{ Watt})}{71 * (999.33 \text{ Kg/m}^3) * (0.40 \text{ m})^5}}$$

$$N = 0.43 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \times \frac{60.19 \text{ rpm}}{1 \text{ rev/s}} = 25.88 \text{ rpm}$$

4.8.6. Lodos Activados

Para establecer el sistema de lodos activados se toma como referencia los parámetros de diseño descritos es la Tabla 19-4:

Tabla 19-4: Parámetros de Diseño para un sistema de Lodos Activados

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Relación alimento microorganismo	F/M	0.2 – 0.6	Kg DBO / Kg SSVLM
Tiempo de retención celular	Θ_c	5 – 15	días
Sólidos Suspendidos en el Licor Mezcla	SSLM	2500 - 4000	mg/L
Relación de recirculación	X_u	25 - 100	%
Rendimiento de Biomasa	$Y_{x/s}$	0.4 – 0.8	mg SSV/ mg DBO ₅
Constante de decaimiento endógeno	K_d	0.025 – 0.075	d ⁻¹
Sólidos Suspendidos Volátiles	SSV	80 - 90	%
Transferencia de oxígeno	% O_2 aire-Agua	5 - 9	%

Fuente: (Metcalf & Eddy, INC, 1998)

- **La DBO₅ en el Efluente, Se_r**

$$Se_r = S_e - 0,63 Xe$$

$$Se_r = (194 \text{ mg/L}) - 0,63 (20 \text{ mg/L})$$

$$Se_r = 181.4 \text{ mg/L}$$

- **La DQO en el Efluente, Se_i**

$$Se_i = S_e - 0,60 Xe$$

$$Se_i = (597 \text{ mg/L}) - 0,60 (20 \text{ mg/L})$$

$$Se_r = 585 \text{ mg/L}$$

4.8.6.1. Bioreactor

- **Biomasa presente en el Biorreactor, X.V**

Los datos de Y, θ_c , Kd son valores establecidos por parámetros de diseño de acuerdo a la Tabla 24-4, considerando que se encuentre dentro de los límites establecidos.

$$X.V = \frac{\theta_c * Y * Q(S_o - S_{er})}{1 + Kd * \theta_c}$$

$$X.V = \frac{10 \text{ d} * 0.65 \text{ mg SSV/ mg DBO} * 32817.6 \text{ L/d} * (660 - 181.4 \text{ mg/L})}{1 + (0.05 \text{ d}^{-1}) * 10 \text{ d}}$$

$$X.V = 6.80 \times 10^7 \text{ mg} = 68.06 \text{ Kg}$$

- **Volumen del reactor, V**

El valor de X hace referencia a los Sólidos Suspendedos en el Licor Mezcla que se encuentra en un rango de 2500 – 4000 mg/, para el presente proyecto se trabaja con un valor de 2500 mg/L.

$$V = \frac{XV}{X}$$

$$V = \frac{6.80 \times 10^7 \text{ mg}}{2500 \text{ mg/L}} = 27.2 \text{ m}^3$$

- **Cantidad de lodos, Px**

$$Px = \frac{XV}{\theta_c}$$

$$Px = \frac{68.06 \text{ Kg}}{10 \text{ d}} = 6.8 \text{ kg/d}$$

- **Sólidos totales de desecho o purga (Lodo seco), Pxs**

El valor de SSV hace referencia a los Sólidos Suspendidos Volátiles que de acuerdo a los parámetros de diseño se establece un valor de 80-90 %.

$$Px_s = \frac{Px}{SSV}$$

$$Px_s = \frac{6.8 \text{ kg/d}}{0.8} = 8.5 \text{ kg/d}$$

- **Caudal de Lodos, Qw**

$$Qw = \frac{Px_s}{X_\mu}$$

$$Qw = \frac{8.5 \text{ kg/d}}{20 \text{ mg/L}} = 43 \text{ m}^3/\text{d}$$

- **Caudal de recirculación, Qr**

$$Qr = \frac{Q * X}{Xr - X}$$

$$Qr = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s} * (2500 \text{ mg/L})}{(0.8 * 2500 \text{ mg/L}) - 1088 \text{ mg/L}}$$

$$Qr = 95.04 \text{ m}^3/\text{d}$$

- **Tiempo de retención hidráulica**

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

$$\theta = \frac{27.2 \text{ m}^3}{0.0004 \text{ m}^3/\text{s}} = 19 \text{ horas}$$

- **Cantidad de oxígeno requerido, OD**

$$OD = 1,5 Q (S_o - S_e) - 1,42 Xr * Qw$$

$$OD = 1,5 0.0004 \text{ m}^3/\text{s} (660 - 181.4 \text{ mg/L}) - 1,42 (0.8 * 2500 \text{ mg/L})$$

$$* (43 \text{ m}^3/\text{d})$$

$$OD = 97.31 \text{ Kg/d } O_2 \text{ puro}$$

- **Cantidad de aire en condiciones estándares**

El valor de p hacer referencia a la densidad del aire a la temperatura de 14°C de acuerdo a la ubicación de la empresa “Mis Frutales”, este valor es tomado de tablas establecidas.

$$Q_{aire} = \frac{OD}{\%O_2 * \rho}$$

$$Q_{aire} = \frac{97.31 \text{ Kg/d}}{0.232 * (1.21 \text{ Kg/m}^3)}$$

$$Q_{aire} = 346.64 \text{ m}^3/\text{d}$$

- **Cantidad de aire real que se integra al sistema, Q_{O_2} .**

Para transferir el Oxígeno del equipo de aireación en condiciones reales en el que solo un porcentaje mínimo de Oxígeno se puede transferir con eficiencia al flujo de agua entre 5 – 9 %, para el presente se trabaja con 8%.

$$Q_{O_2} = \frac{Q_{Aire}}{\% O_2 \text{ aire-Agua}}$$

$$Q_{O_2} = \frac{346.64 \text{ m}^3/\text{d}}{0.08}$$

$$Q_{O_2} = 4333 \text{ m}^3/\text{d}$$

- **Relación de Alimento Microorganismos, F/M**

$$\frac{F}{M} = \frac{Q(S_o - S_e)}{V.X}$$

$$\frac{F}{M} = \frac{0.0004 \text{ m}^3/\text{s} (660 - 181.4 \text{ mg/L})}{27.2 \text{ m}^3 * 2500 \text{ mg/L}}$$

$$\frac{F}{M} = 0.28 \text{ d}^{-1}$$

- **Eficiencia de la planta, e**

$$e = \frac{DBO_e}{DBO_o} * 100$$

$$e = \frac{466 \text{ mg/L}}{660 \text{ mg/L}} * 100 = 70.6 \%$$

- **Eficiencia de remoción de DQO**

De acuerdo a (Lavagnino, 2016) un sistema de fangos activos reduce como mínimo un 15% de DQO en comparación a otros estudios realizados con aguas residuales dentro de un proceso de tratamiento, por otro lado, se conoce que el rendimiento de eliminación es de 80-85% de acuerdo

a Metcalf & Eddy lo que corrobora la información previamente descrita en base a estudios realizados.

$$E \% = \frac{X_o - X_f}{X_o}$$

$$15 \% = \frac{585 \text{ mg/L} - X_f}{585 \text{ mg/L}}$$

$$X_f = 497.25 \text{ mg/L}$$

- **Volumen del tanque del reactor, V**

$$V = L \times B \times H$$

$$L = \sqrt[3]{6V}$$

$$L = \sqrt[3]{6(27.2 \text{ m}^3)}$$

$$L = 5.5 \text{ m}$$

De acuerdo a las relaciones de tamaño (Sánchez Prieto & Martínez Dávila, 2015), se establece lo siguiente:

$$L = 2B = 3H$$

$$B = \frac{L}{2} = \frac{5.5 \text{ m}}{2} = 2.75 \text{ m}$$

$$H = \frac{L}{3} = \frac{5.5 \text{ m}}{3} = 1.8 \text{ m}$$

- **Área del tanque de aireación**

Para el tanque de aireación se considera las dimensiones del biorreactor donde es necesario colocar un sistema de aireación para mejorar la calidad del agua especialmente en DQO y DBO.

$$A_t = L \times B$$

$$A_t = 5.5 \text{ m} \times 2.75 \text{ m}$$

$$A_t = 15.12 \text{ m}^2$$

- **Área unitaria de los difusores**

El área unitaria para los aireadores de tanque permite determinar el número de dispositivos de aireación que se deben de colocar, se trabaja con aireadores debido a que es un tanque de dimensiones pequeñas, y de acuerdo al catálogo de difusores de aire para procesos biológicos el diámetro típico es de 30 cm que equivale a a 11”.

$$A_u = \frac{\pi (0.3 \text{ m})^2}{4} = 0.07 \text{ m}^2$$

El diámetro de cada difusor es de 0.30m, y se determina separación de 0.30 m entre cada uno, de manera práctica se considera un margen de seguridad entre cada uno de 0.20 m, por lo cual existe un diámetro final de 0.80 m.

$$A_u = \frac{\pi (0.8 \text{ m})^2}{4} = 0.50 \text{ m}^2$$

De acuerdo a la fórmula del número de difusores se determina así los mismos que se colocan dentro del tanque.

$$N_L = \frac{A_t}{A_u}$$

$$N_L = \frac{15.12 \text{ m}^2}{0.5 \text{ m}^2} = 30 \text{ aireadores}$$

De manera teórica, se deberían de colocar 30 difusores en el tanque lo que de manera practica se conoce que el diámetro de cada difusor es de 12” que equivale a 30 cm, de tal forma se conoce que el largo del tanque es de 5.5 m y el ancho es de 2.75 m, por lo cual, cada difusor debe de ser colocado a una distancia de 0.3 m, de acuerdo a lo descrito a lo largo se colocaran 8 difusores y a lo ancho se colocaran 4 difusores, siendo un total en el tanque de 30 difusores.

4.8.6.2. Sedimentador secundario

Para el tratamiento del agua residual de la empresa “Mis Frutales” se emplea un sedimentador secundario tipo circular debido a que el caudal de diseño es pequeño y se tiene la finalidad de que los sólidos suspendidos puedan sedimentar con facilidad.

- **Caudal en el sedimentador (Qsedimentación)**

$$Q_{\text{sedimentación}} = Q + Q_R - Q_W$$

$$Q_{\text{sedimentación}} = (32.8 + 95.04 - 43) \text{ m}^3 / d$$

$$Q_{\text{sedimentación}} = 84.84 \text{ m}^3 / d$$

- **Área del tanque de sedimentación, A**

La carga superficial a considerar para el diseño es en base a el agua residual sin tratar para lo cual se toman valores de referencia.

Tabla 20-4: Valores de carga superficial recomendados para sedimentación

Descripción	Carga superficial (m ³ / m ² d)	
	Intervalo	Valor Típico
Agua residual sin tratar	24-48	48
Flóculo de sulfato de aluminio	14-24	24
Flóculo de hierro	21-32	32
Flóculo de cal	21-48	48

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

De tal manera la carga superficial se toma el valor típico de 48 m³/ m² d, de acuerdo a la información la Tabla 20-4.

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

$$A = \frac{84.84 \text{ m}^3/d}{48 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}}$$

$$A = 1.77 \text{ m}^2$$

- **Diámetro del sedimentador, D**

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * (1.77 \text{ m}^2)}{\pi}} = 1.50 \text{ m}$$

- **Radio del sedimentador, r**

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1.77 \text{ m}^2}{\pi}} = 0.75 \text{ m}$$

De acuerdo a Metcalf & Eddy, 1995, recomienda que para el diseño de un sedimentador circular el diámetro mínimo debe de ser de 3.0 m, a la vez describe que la profundidad debe de ser de 3.0 m. Se tiene un D = 3.0 m

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(3.0 \text{ m})^2}{4}$$

$$A = 7.07 \text{ m}^2$$

- **Volumen del tanque de sedimentación, V**

Para conocer el volumen del tanque se debe de considerar la profundidad del sedimentador de acuerdo a parámetros de diseño para los tanques rectangulares y circulares para tratamiento primario.

Tabla 21-4: Valores típicos para el diseño de sedimentadores circulares

Tipo de tanque	Unidad	Valor	
		Intervalo	Típico
Circular			
Profundidad	m	3 – 4.5	3.6
Diámetro	m	3 - 60	12 - 45
Pendiente de la solera	Mm/m	6.25 - 16	8
Velocidad de las rasquetas	r/min	0.02 – 0.05	0.03

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

De acuerdo a los valores típicos de la profundidad del tanque se toma el valor de $h_{Ts} = 3.0 \text{ m}$.

$$V = A \times h_{Ts}$$

$$V = 7.07 \text{ m}^2 \times 3.0 \text{ m}$$

$$V = 21.2 \text{ m}^3$$

- **Altura de la zona de lodos, h_l**

Según los parámetros de diseño propuestos por Metcalf & Eddy, 1995. Se asumirá un valor para la pendiente del fondo de 80 mm/m.

$$h_l = \frac{D}{2} (80 \text{ mm/m})$$

$$h_l = \frac{3.0 \text{ m}}{2} (80 \text{ mm/m})$$

$$h_l = 120 \text{ mm} = 0.12 \text{ m}$$

- **Altura de seguridad, h_s**

Para el diseño se considera un valor de 0.30 m, de acuerdo a los parámetros de diseño que establece un valor de 0.10 – 0.30 m.

$$h_s = 0.30 \text{ m}$$

- **Altura total del sedimentador, H**

$$H = h_{Ts} + h_l + h_s$$

$$H = 3.0 \text{ m} + 0.12 \text{ m} + 0.30 \text{ m}$$

$$H = 3.42 \text{ m}$$

Para el diseño del sedimentador, con fines de construcción se considera la altura total de 3.50 m.

- **Cámara de reparto, R_c**

$$R_c = 0,25(D)$$

$$R_c = 0.25 (3.0 \text{ m})$$

$$R_c = 0.75 \text{ m}$$

- **Altura de la cámara de reparto H_c**

$$H_c = \frac{1}{3}H$$

$$H_c = \frac{1}{3}(3.5 \text{ m})$$

$$H_c = 1.17 \text{ m}$$

- **Vertederos del sedimentador**

- **Longitud del vertedero (L_v)**

La geometría de los vertederos será en forma de dientes de sierra con ángulo de 90° sobre el vertedero en el costado interno del canal de efluente.

$$L_v = \pi * (D - 1\text{m})$$

$$L_v = \pi * (3 \text{ m} - 1\text{m})$$

$$L_v = 6.3 \text{ m}$$

- **Número total de dientes (N_{Td})**

$$N_{Td} = \frac{L_v}{S_d}$$

$$N_{Td} = \frac{6.3 \text{ m}}{0.395 \text{ m}}$$

$$N_{Td} = 15.9 = 16 \text{ dientes}$$

- **Carga sobre vertedero de salida, C_v**

$$C_v = \frac{Q}{\pi \times D}$$

$$C_v = \frac{84.84 \text{ m}^3/d}{\pi \times 3 \text{ m}}$$

$$C_v = 9.00 \text{ m}^3/\text{m} * d$$

4.8.7. Resultados del dimensionamiento

A continuación, se muestran las tablas de los resultados calculados para cada uno de los componentes de la planta de tratamiento de agua residual, el cual está compuesto por un canal de acercamiento, rejillas, aforador parshall, sedimentador primario, tanque de coagulación y un sistema de lodos activados.

4.8.7.1. Canal de acercamiento

En la Tabla 22-4 se detallan los resultados del dimensionamiento del canal abierto de acercamiento por donde ingresara el agua residual producida por la empresa para su tratamiento con un área de 0.005 m², en donde de acuerdo a la relación óptima de diseño se tiene un ancho de canal de 0.25 m y un alto de 0.22 m.

Tabla 22-4: Resumen dimensiones del canal de acercamiento

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Ancho del canal	B	0.25	m
Altura del canal	H	0.25	m
Área del canal	A	0.005	m ²

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

4.8.7.2. Rejillas

En la Tabla 23-4 se puede observar los resultados del sistema de rejillas cuya función es retener los sólidos que ingresan al sistema de tratamiento para evitar fallas en el proceso de depuración, con un ancho de canal de 0.50 m y alto de 0.25 m en donde se colocaran 11 barros con una inclinación de 45° de acero liso.

Tabla 23-4: Resumen dimensiones del sistema de rejillas

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Ancho del canal	B	0.50	m
Altura de las paredes	h	0.25	m
Separación de las barras	S	2	cm
Espesor de las barras	e	2.5	cm
Ángulo de inclinación	θ	45°	°
Longitud de las barras	lb	0.35	m

Largo de las barras	L	0.25	m
Número de barrotos	Nb	11	-
Material	Acero liso	-	-
Velocidad	V	1	m/s

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

4.8.7.3. Aforador Parshall

En la Tabla 24-4 se puede observar los resultados de las dimensiones del aforador Parshall, el cumple permite medir el caudal en tiempo real y sirve como mezclador hidráulico por el sistema de turbulencia que genera aprovechando esta mezcla se puede colocar un coagulante para mejorar la calidad del agua entrante. Este aforador posee un ancho de garganta de 2.5 cm y un largo de convergencia de 0.20 m.

Tabla 24-4: Resumen dimensiones del aforador Parshall

Parámetro	Abrevia.	Valor	Unidad
Ancho de convergencia	P	0.50	m
Ancho de la sección	D	0.168	
Distancia de la sección convergencia	A	0.363	
Ancho de garganta	W	0.025	
Altura del canal	E	0.395	
Ancho de la sección divergente	C	0.093	
Largo de la sección de convergencia	B	0.356	
Largo de la zona de garganta	F	0.076	
Largo de la zona de divergencia	G	0.203	
Inclinación del resalto	N	0.029	
Inclinación de la zona final del resalto	Y	0.013	
Separación entre de garganta y divergencia	X	0.008	
Altura de resalto final	K	0.019	

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

Cada una de las medidas establecidas para su dimensionamiento se encuentra en el Anexo de la Ilustración 13-4, conociendo que solo se necesita identificar el ancho de garganta del aforador permite conocer los demás parámetros de diseño establecidos. En la Figura 24-4 se muestra para los valores de la tabla de acuerdo a las abreviaturas.

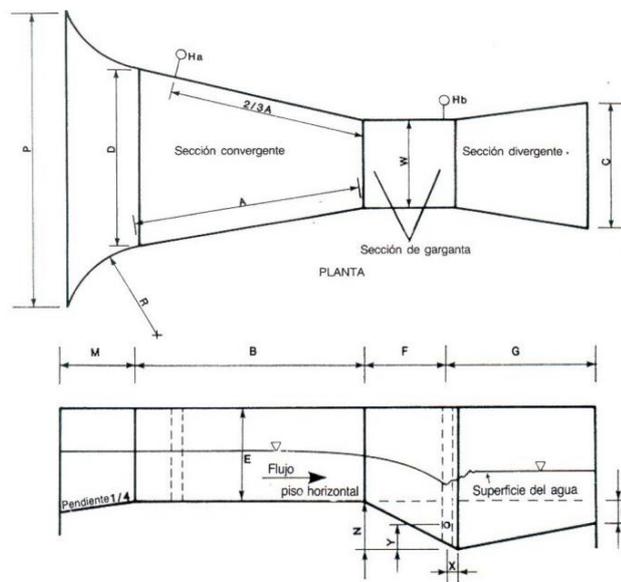


Ilustración 13-4: Aforador Parshall y sus dimensiones

4.8.7.4. Sedimentador Primario

En la Tabla 25-4 se puede apreciar las dimensiones del sedimentador primario convencional de flujo horizontal, en donde permite la acumulación de sólidos que sedimentan por acción de la gravedad, lo cual a la vez ayuda a disminuir la turbidez y sólidos sedimentables. El sedimentador presenta las siguientes dimensiones una altura de 2.70 m con un largo de 1.75 m.

Tabla 25-4: Resumen dimensiones del sedimentador primario

Parámetro	Abrevi.	Valor	Unidad
Área del tanque	As	0.65	m ²
Volumen del tanque	V	1.92	m ³
Altura de la zona de lodos	h _l	0.15	m
Altura total del sedimentador	H	2.05	m
Largo del sedimentador	L	1.5	m
Ancho del sedimentador	B	0.5	m
Largo del canal del salida y entrada	Le	0.5	m
Ancho del canal de entrada	b	0.04	m

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

4.8.7.5. Coagulación – Flocculación

En la Tabla 26-4 se muestran los resultados del dimensionamiento del tanque de coagulación de mezcla rápida que permite la disminución de DQO Y DBO₅ de las aguas residuales, además el contenido de sulfuros, en donde separa las partículas para posteriormente formas flóculos que sedimentan y mejoran la calidad del agua como su turbiedad y pH, en este sistema se hace uso de productos químicos como coagulantes y en este caso se trabajara con Poli cloruro de Aluminio

para tratar el agua. El tanque de coagulación con un sistema de mezcla rápida presenta las siguientes dimensiones: diámetro de 1.16 m, profundidad de 1.35 m, con una turbina de 6 paletas planas de ancho 0.08 m, largo 0.10 m y con un diámetro del disco central de 0.30 m.

Tabla 26-4: Resumen dimensiones del tanque de coagulación

Parámetro	Abrevia.	Valor	Unidad
Diámetro del tanque	DT	1.16	m
Profundidad del tanque	H	1.35	m
Diámetro de la turbina	D	0.40	m
Ancho de los deflectores	W_d	0.04	m
Diámetro del impulsor	d_i	0.40	m
Altura del impulsor	H_i	0.40	m
Ancho de las paletas del impulsor	q	0.08	m
Longitud de las paletas	L_{pi}	0.10	m
Diámetro del disco central	S	0.30	m
Volumen del tanque	V	1.44	m ³

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

4.8.7.6. Lodos Activados

En la Tabla 27-4 se describen los resultados del dimensionamiento del sistema de lodos activados en donde se busca la reducción de DBO, DQO y a la vez de los sólidos presentes en el agua con una eficiencia del tratamiento de 70.6 %. Las dimensiones del tanque de aireación rectangular con un largo de 5.50 m, ancho de 2.75 m y de alto 1.80 m con 32 difusores.

Tabla 27-4: Resumen del sistema de lodos activados

Parámetro	Abrevia.	Valor	Unidad
Volumen del tanque de aireación	V	27.2	m ³
Largo del tanque	L	5.50	m
Ancho del tanque	B	2.75	m
Altura del tanque	H	1.80	m
Área del tanque	A_t	15.12	m ²
Área del difusor	A_d	0.64	m ²
Número de Difusores	N_I	32	-

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

En la Tabla 28-4 se presentan las dimensiones del sedimentador secundario circular que permite mejorar la calidad del agua residual, en cuanto a la reducción de la carga de DQO en donde la materia orgánica disminuye y los sólidos sedimentan, de tal manera se tiene un tanque de 3.0 m de diámetro, 3.50 m de altura del sedimentador, la cámara de reparto tiene una altura de 1.17 m y diámetro de 0.75 m.

Tabla 28-4: Resumen dimensiones del sedimentador secundario

Parámetro	Abrevia.	Valor	Unidad
Área del tanque	A	1.77	m ²
Diámetro del tanque	D	3.0	m
Radio del tanque	r	1.5	m
Volumen del tanque	V	21.2	m ³
Profundidad del tanque	h _{Ts}	3.00	m
Altura de la zona de lodos	h _l	0.12	m
Altura de seguridad	h _s	0.30	m
Altura total del sedimentador	H	3.50	m
Diámetro de la cámara de reparto	R _c	0.75	m
Altura de la cámara de reparto	H _c	1.17	m

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023.

4.9. Comparación de resultados antes y después del tratamiento

Para el tratamiento de las aguas residuales de la empresa “Mis Frutales”, se realizó una comparación de los valores de los parámetros físico-químicos del agua sin tratar y del agua tratada considerando aquellos parámetros que se encontraban fuera de la norma, al emplear el sistema de coagulación se pudo observar resultados favorables, as imple vista se pudo apreciar la disminución de color y turbidez, es así que el olor desapareció en la muestra.



Ilustración 14-4: Agua sin Tratar y Agua Tratada de la empresa “Mis Frutales”

Fuente: Asqui Usca Yomaira E., 2023

En la Tabla 34-4 se describe la caracterización del agua de la empresa “Mis Frutales” después del proceso de coagulación - floculación, a partir de la comparativa donde el agua residual sin tratar presentó valores DBO₅, DQO, Fósforo y Sulfuros que incumplen con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I, la Tabla 8: Límites

de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, por lo cual se empleó un tratamiento primario de coagulación-floculación que mostro buenos resultados para implementarlos en la empresa.

Tabla 29-4: Comparación de la caracterización del agua residual

Parámetros	Unidad	Agua Residual sin Tratar	Agua Residual Tratada	Límites permisibles Acuerdo 097-A
pH	-	8.03	7.1	6-9
Turbiedad	NTU	123.2	3.32	-
Aceites y Grasas	mg/L	27.6	16.8	70.0
DBO ₅	mg/L	660.0	194	250.0
DQO	mg/L	930.0	497.25	500.0
Fósforo Total	mg/L	18.5	1.35	15.0
Sulfuros	mg/L	128.0	17.6	1.0

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

En el Gráfico 7-4 se puede observar que los 4 parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles disminuyeron notoriamente después del tratamiento demostrando que tiene una alta eficiencia para tratar el agua y posteriormente darle un nuevo uso a el agua tratada de manera que se busque la sostenibilidad del recurso hídrico, de tal manera, el agua residual tratada cumple con los limites establecido en la norma ecuatoriana en cuanto a DBO₅, fosforo total y sulfuros después del proceso de coagulación - floculación , por otra parte, el DQO se encontró fuera de la norma por lo cual se empleó un sistema de lodos activados en donde con ayuda del biorreactor y sedimentador secundario existe una mayor aireación en donde el valor del mismo reduce y cumple con la norma Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I, la Tabla 8: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público.

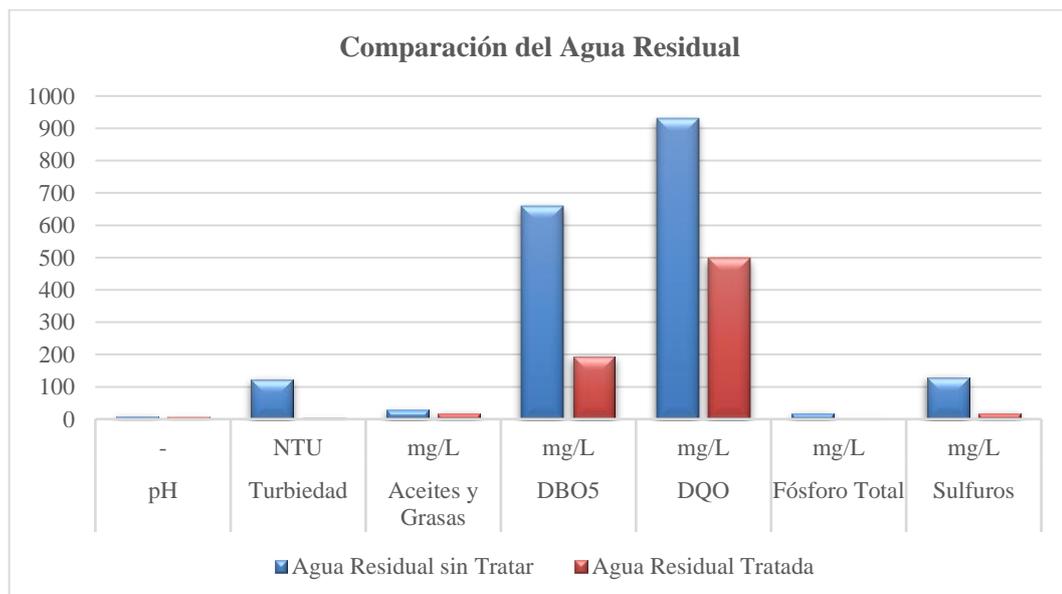


Ilustración 15-4: Comparación de la muestra de agua residual con el sistema de tratamiento

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

4.9.1. Porcentaje de remoción del sistema de tratamiento

Para determinar que los procesos planteados para el tratamiento del agua residual mostraron el resultado deseado se debe determinar el porcentaje de remoción de cada análisis y parámetros, para lo cual, se emplea la siguiente expresión:

$$E = \frac{X_o - X_f}{X_o} * 100$$

De acuerdo al porcentaje de remoción de contaminantes se determinó la eficiencia de la planta de tratamiento propuesta para la empresa “Mis Frutales”, con un buen resultado debido a que los parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles después de emplear un sistema de tratamiento mejoraron la calidad, disminuyeron la carga contaminante y se dio el cumplimiento de lo establecido en la norma para la descarga al sistema de alcantarillado como se describe en la Tabla 35-4 donde se puede observar un valor de 74.20% de remoción de contaminantes.

Tabla 30-4: Porcentajes de remoción de contaminantes

Parámetro	Agua sin Tratar	Agua Tratada	% Remoción
DQO	930	497.25	47.16
DBO ₅	660	194	70.60
Fósforo Total	18.5	1.35	92.70
Sulfuros	128.0	17.6	86.25
Total	-	-	74.20

Realizado por: Asqui Usca, Yomaira E., 2023

De acuerdo a lo investigado, al implementar un tratamiento de coagulación – floculación se logra un porcentaje de remoción de DQO de 94.2% mediante el uso de coagulantes – floculantes, y que con ayuda de un tratamiento biológico existe una remoción de DQO del 60 al 80% , de esta manera se muestra que los resultados obtenidos en este proyecto técnico en cuanto a remoción de contaminantes es ideal, dado que la carga materia orgánica disminuyo representativamente, de tal forma, implementar este sistema de tratamiento en la empresa “Mis Frutales” es factible por lo que presenta resultados favorables.

CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema de tratamiento de agua residual para la empresa “Mis Frutales” ubicada en la parroquia de San Luis, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo que consta con 5 procesos unitarios en donde se tratará un caudal de 32.8 m³/día mediante un sistema de rejillas, aforador Parshall, sedimentación, coagulación-floculación y lodos activados por aireación, los cuales permitirán mejorar la calidad del agua para que cumpla con los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 A.

Se caracterizó el agua residual de la empresa procesadora de pulpas de frutas mediante el análisis físico – químicos y microbiológicos, dando como resultado valores elevados en parámetros como Turbiedad con un valor de 123.2 NTU, DBO₅ con un valor de 660 mg/L, DQO con un valor de 930 mg/L, sulfuros con valor de 128 mg/L y fosforo total de 18.5 mg/L, mismos que se encuentran fuera de los parámetros establecidos en el Acuerdo 097 A, Libro VI, Anexo 1, Tabla 8: Límites para la descarga al sistema de alcantarillado público, posterior se realizó el análisis final de la muestra tratada para verificar la remoción de contaminante obteniendo resultados de DBO₅ con un valor de 194 mg/L, DQO con un valor de 497.25 mg/L, sulfuros con un valor de 17.6 mg/L y fosforo total de 1.35 mg/L, mismos que cumplen a cabalidad con los establecido en la norma ambiental vigente.

La variable de diseño primordial del sistema de tratamiento fue el caudal de diseño de producción de la empresa con un valor de 32.8 m³/d y las condiciones iniciales del agua residual, que con ayuda del índice de biodegradabilidad se determinó el tipo de tratamiento biológico a implementar y que mediante la prueba de tratabilidad en laboratorio como lo es el test de jarras se determinó una alternativa viable de operaciones de tratamiento como lo es coagulación – floculación con un coagulante químico comercial Poli Cloruro de Aluminio con un concentración al 5% y una dosis óptima de 90 ppm acompañado de un sistema de lodos activados con aireación.

Los cálculos de ingeniería se desarrollaron a partir del caudal de diseño con un valor de 32.8 m³/d, donde se dimensiono 5 componentes de la planta de tratamiento comenzando con un pretratamiento con rejillas con 11 barrotos de acero liso y un canal de 0.50 m, aforador parshall con un ancho de garganta de 0.025 m y sedimentador primario convencional de flujo horizontal de largo 1.5 m, posterior un tratamiento biológico que incluyo coagulación – floculación con un sistema de mezcla rápida a través de turbinas y lodos activados con un biorreactor por aireación y un sedimentador secundario; aplicando criterios de diseño óptimos para cada uno de los procesos, los mismos que garantizaron la remoción de contaminantes.

El sistema de tratamiento propuesta para la empresa “Mis Frutales” fue validado a través del porcentaje de remoción de cada uno de los parámetros que se encontraron fuera de los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 097, Libro Vi, Anexo 1, Tabla 8 , obteniendo los resultados como DBO₅ con 70.6 %, DQO con un valor de remoción de 47.16 %, sulfuros de 86.25% y fosforo total con un valor de 92.70%, obteniendo una remoción promedio 74.2% de remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos gracias al sistema propuesto.

RECOMENDACIONES

Para la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales es importante considerar el periodo de diseño de 10 años como base, además que se debe de considerar el nivel de producción de la empresa proyectada hacia el futuro.

Implementar un sistema de eras de secado para poder aprovechar los lodos generados en el proceso, adicional al sistema propuesto.

Realizar por ciertos períodos de tiempo el análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológico del agua residual para lograr cumplimiento del Acuerdo Ministerial 097- A, Libro VI, Anexo 1 correspondiente a la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, Tabla 8: Límites Permisibles para el Sistema de Alcantarillado Público.

Realizar una buena caracterización del agua residual para implementar sistemas de tratamiento adecuados que sean viables de ejecutarlos en las empresas.

BIBLIOGRAFÍA

AGUDELO, R. et. al. Ultrasonic cavitation for wastewater treatment. A Review. *Ingeniería y Competitividad*, 24(2), pp. 1-26.

ALCARRAZ CURI, M. & IBCHE MITMA, J., Tratamiento de efluentes de una planta procesadora de frutas. *Industrial Data*, 13(2), pp. 99-104.

ALFARO CHINCHILLA, M. C., VILLALOBOS SANDÍ, N. & PÉREZ SALAZAR, R., *Sistemas de lagunaje como tecnología alternativa para el tratamiento de aguas residuales: vigencia de esta técnica en Costa Rica.* [En línea] Available at: https://web.archive.org/web/20200321012400id_/http://www.eventos.academicos.una.ac.cr/index.php/cicen/ICICEN/paper/viewFile/211/107

ALFONSO, L. & VARGAS, L., *Desarrollo de una propuesta para el tratamiento de aguas residuales proveiente del proceso de producción de pulpas de fruta de la empresa Alimentos SAS S.A.S.* [En línea] Available at: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6836/1/6122880-2018-2-IQ.pdf>

ALONZO, A. B., Eficiencia de la semilla de durazno Prunus pérsicaS “Salcajá” como coagulante natural. *Agua, Sanamiento & Ambiente*, 17(1), pp. 1-12.

ALVARADO, E. & CASTILLO, P., *Estudio del proceso de producción de pulpas de frutas combinadas pasteurizadas y congeladas a mediana escala.* [En línea] Available at: https://www.academia.edu/9164141/Estudio_del_proceso_de_producci%C3%B3n_de_pulpas_de_frutas_combinadas_pasteurizadas_y_congeladas_a_mediana_escala

ALVAREZ, J., *Estrategias de comercialización en las ventas en la procesadora agroindustrial Mis Frutales, Riobamba-San Luis, 2017.* [En línea] Available at: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/5423/1/UNACH-EC-FCP-ING-COM-2019-0010.pdf>

ÁREA METROPOLITANA VALLE DE ABURRÁ, *Manual para la realizaición de aforos de caudal en fuentes superficiales de agua.* [En línea] Available at: <https://www.metropol.gov.co/area/Documents/transparencia/M-GAA-RR-03%20Manual%20para%20la%20realizaci%C3%B3n%20aforos%20caudal%20fuentes%20superficiales.pdf>

ARELLANO, A. & LINDAO, V., Effects of water quality and management on bottled water consumption. *Revista Digital Novasinergia*, 2(1), pp. 15-23.

ARTEAGA CORTEZ, V. et. al. State of art: A current review of the mechanisms that make the artificial wetlands for the removal of nitrogen and phosphorus. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5), pp. 319-342.

BAEZA GÓMEZ, E., *Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales.* [En línea] Available at: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25552/2/Informe_Tratamiento_Aguas_Residuales.pdf

CAJAMARCA, D. I., BAÑO, D. J., ARBOLEDA, L. F. & MIRANDA, M. F., Sostenibilidad medio ambiental en el procesamiento de frutas deshidratadas ecuatorianas. *ProSciences*, 4(35), pp. 1-15.

CÁNEPA, L., BARRENCHEA, A., MALSONADO , V. & AURAZO, M., Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida-Manual I: Teoría tomo I. En: s.l.:Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

CASTRO PERDOMO, N. A. & RAJADEL ACOSTA, O. N., Otra cara de la problemática del agua y el cambio climático; dos realidades sinérgicas yuxtapuestas. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 13(4), pp. 351-360.

CCI, I. P. d. I. s. C., *Manual de Medición de Caudales.* [En línea] Available at: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>

CERÓN, L., SARRIA, J., TORRES, J. & SOTO-PAZ, J., Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico. *Información Tecnológica*, 32(1), pp. 47-56.

DE LA CRUZ VEGA, I. A. et. al. Diseño de canaleta Parshall. *Minerva Journal of Scientific Research*, 3(7), pp. 51-77.

DÍAZ, M., RIVAS, L., FERNÁNDEZ, D. & SALAZAR, D., *Tratamiento de aguas residuales oleosas mediante flotación por aire disuelto.* [En línea]
Available at: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n2/rtq05218.pdf>

DUSSAUBAT, S. & VARGAS, X., *Aforo en un Cauce Natural.* [En línea]
Available at: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/hidro_mod1.htm

ENCALADA SANMARTIN, C. & GARCÍA HEVIA, S. Economic-Technical Evaluation of Banana Pulp Processing Plant in El Oro Province, Ecuador. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4), pp. 78-87.

ESPIGARES, M. & PÉREZ, J., *Aguas Residuales: Composición.* [En línea]
Available at:
https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

ESPINOSA RODRÍGUEZ, M., DELGADO DELGADO, R. & HIDALGO MILLÁN, A.,
Evaluación de un proceso anóxico-aerobio-reactor biológico de membrana con alto contenido de nitrógeno. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 36(2), pp. 303-320.

GAITAN, J., *Potabilización de agua mediante filtración y desinfección.* [En línea]
Available at: <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/3f2c31dd-e161-40c0-b0c0-8bccbc1ba868/content>

GARCÍA JUÁREZ, H. D., MENDOZA ZUTA, J. C., ARMAS JUÁREZ, R. A. & CRUZ SALINAS, L. E., Tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de curtido de pieles. *ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 18(6), pp. 423-435.

GARCÍA TARAVILLA, V. M. & MARTÍ OLIET, E., Operaciones básicas en la industria química. En: España: Síntesis, pp. 107-110.

GONZÁLEZ PÉREZ, L. R. & CRAMONA TINOCO, J. U., *Estudio sobre la protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos.* [En línea] Available at: https://www.cndh.org.mx/sites/all/doc/Informes/Especiales/ESTUDIO_RIOS_LAGOS_ACUIFEROS.pdf

GONZÁLEZ, Y. & JÁUREGUI, U., Tendencias en la modelación matemática de biorreactores con membranas sumergidas para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 5(1), pp. 53-83.

GRIJALVA ENDARA, A. D. L. M., JIMÉNEZ HEINERT, M. E. & PONCE SOLÓRZANO, H. X., Contaminación del agua y aire por agentes químicos. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, 4(4), pp. 79-93.

HERNÁNDEZ, G. & CISNEROS, P., *Tecnologías de pretratamiento.* [En línea] Available at: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento-del-sistema/tratamiento-semi/tecnolog%C3%ADas-de-pretratamiento>

INEN, *Instituto Nacional de Normalización.* [En línea] Available at: http://www.siss.gob.cl/586/articles-6083_recurso_1.pdf

LAVAGNINO, H., *Eficiencia en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Rafael Landívar.* [En línea] Available at: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2016/06/15/Lavagnino-Herberth.pdf>

LIPPI DOMINGUEZ, C. F., *Caracterización xperimental del flujo de aproximación a una obra hidráulica en un modelo físico 2D (H:V).* [En línea] Available at: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4315/PSFLFINAL2016.pdf?sequence=1>

LÓPEZ RÁEZ, L., TORRES ZAVALA, N. & DÁVILA SOLAR, L., Utilización de Residuos del procesamiento de jugo de "Maracuyá" (*passiflora edulis*) para consumo humano. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, Issue 8, pp. 119-135.

LÓPEZ, C., BUITRÓN, G., GARCÍA, H. & CERVANTES, F., *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño.* s.l.:IWA Publishing .

LÓPEZ, F. & ZURITA, R., *Vertederos.* [En línea]
Available at: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-medidor-anemometro>

LUX MONROY, M., *Medidores de Flujo en Canales Abiertos.* [En línea]
Available at: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf

MATELCO, *Coagulación-Floculación-Sedimentación.* [En línea]
Available at: <https://www.matelco.es/control-de-la-carga-organica-en-agua-potable-segunda-parte/coagulacion-floculacion-sedimentacion/>

MENÉNDEZ, C., La sedimentación secundaria en los tratamientos biológicos de aguas residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(3), pp. 24-33.

METCALF & EDDY, INC, *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización.* En: España: McGraw Hill, p. 18.

MONTERO VEGA, F. et. al. Evaluación del Impacto Ambiental de la Construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso Río Pindo Chico, Puyo, Pataza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(1), pp. 23-39.

MORALES, J., VARGAS, M. & MEDINA, J., La demanda química de oxígeno con el procedimiento APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a microescala. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(1), pp. 113-132.

OLANO ARÉVALO, R., TUESTA CASIQUE, A. & AZABACHE ALIAGA, B., Efecto de coagulación-floculación en remoción del hierro y manganeso en acuífero. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(1), pp. 1-12.

ORTIZ PENAGOS, N., AYALA ESQUIVEL, J., LEÓN LUQUE, A. J. & MAHECHA CEPEDA, L. C. Extracción y recuperación de sulfuros de aguas residuales de curtiembres. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(2), pp. 285-297.

OSORIO RIVERA, M. et. al. La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6(3), pp. 228-245.

PABÓN, S., BENÍTEZ, R., SARRIÁ, R. & GALLO, J., Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), pp. 9-18.

PERALBO, J. & PLAZA, A., *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales en una industria procesadora de frutas y vegetales.* [En línea] Available at: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/24425/1/401-1285%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20PTARI%20de%20una%20industria%20procesadora%20de%20frutas%20y%20vegetales.pdf>

PIMIENTO, K. & CÁRDENAS GONZÁLEZ, M. J., Evaluación del tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita (Venezuela). *INGE CUC*, 17(1), pp. 1-14.

PINO, S. et. al. El costo de remediación del recurso agua por contaminación de Coliformes fecales en el Estero Salado, sector La Chala, Guayaquil-Ecuador. *Revista Espacios*, 42(04), pp. 102-120.

PORTALES, R., *Sedimentación.* [En línea] Available at: <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2011/11/sedimentacion.html>

QUINTERO YEPES, L. & RODRÍGUEZ VALENCIA, N., Uso de cales para el tratamiento primario de las aguas residuales del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, Issue 537, pp. 1-8.

RAMALHO, R., Tratamiento de Aguas Residuales. En: *Introduction to Wasterwater Treatment Processes*. Second ed. Barcelona: Reverté, pp. 4-5.

RAMÍREZ JIMÉNEZ, D. F., Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 9(1), pp. 100-113.

RESÉNDIZ RAMÍREZ, M. & SOTO ALCOCER, J., Comparación de distintos métodos de secado para lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de San Jerónimo, del Municipio de Purísima del Rincón, GTO. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), pp. 350-356.

RÍOS DEL TORO, E., Acoplamiento de los procesos Sulfamox Y desnitrificación autotrófica para la remoción simultánea de compuestos nitrogenados y de azufre del agua. *BioTecnología*, 25(4), p. 201.

RODRÍGUEZ DÍAZ, Y. et. al. Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento de aguas industriales en palma de aceite. *Temas Agrarios*, 24(2), pp. 158-169.

RODRÍGUEZ, C., *Demanda Química de Oxígeno por reflujo cerrado y volumetría.* [En línea] Available at: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

ROMERO, J., Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de diseño. En: s.l.:Escuela Colombiana de Ingeniería.

SALAMANZA RODRÍGUEZ, L., *Estudio de nuevas estrategias de prevención de la contaminación odorífera en redes de alcantarillado y EDARs.* [En línea] Available at: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/55886/TFM-I-2404.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SALAS, J., *Lagunaje 2.0: depurando aguas residuales/cosechando microalgas (I).* [En línea] Available at: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/lagunaje-20-depurando-aguas-residualescosechando-microalgas-i>

SALGADO, J., RODRÍGUEZ, D. & PEÑUELA, G., Optimización de un sistema de tratamiento mediante ensayos de tratabilidad para la remoción de materia orgánica en aguas residuales de alta complejidad. *Ingenierías USBMed*, 13(1), pp. 45-55.

SÁNCHEZ PRIETO, A. & MARTÍNEZ DÁVILA, R., *Proporciones y superficies armónicas.* [En línea] Available at: <http://codicologia.atspace.cc/contenidos/05Impaginacion/05-04-Proporciones.html>

SÁNCHEZ, R. & GARCÍA, K., Tratamiento de Aguas Residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *La Granja. Revistas de Ciencias de la Vida*, pp. 103-111.

SANTAMARIA, E., ÁLVAREZ, F. & ZAMORA, M., Caracterización de los parámetros de calidad del agua para disminuir la contaminación durante el procesamiento de lácteos. *Agroindustrial Science*, 5(1), pp. 13-26.

SELA, G., *Tratamiento de Aguas Residuales.* [En línea]
Available at: <https://croipa.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales/>

SIERRA ZAMORA, P. A., FONSECA ORTÍZ, T. L. & SÁNCHEZ TARAZONA, J. A., 2022. Análisis de la hidroestrategia y el derecho humano al agua en Colombia. *Revista Científica General José María Córdova*, 20(37).

VALDEZ, E. C. & VÁZQUEZ, A., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. En: s.l.:Fundación ICA, pp. 97-100.

VARGAS CORREDOR, Y. & PÉREZ PÉREZ, L., Use of Agro-Industrial Waste in Improving The Quality of the Environment. *Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), pp. 59-72.

VARGAS, L. & ALFONSO, L., *Desarrollo de una propuesta para el tratamiento de aguas residuales proveiente del proceso de producción de pulpas de fruta de la empresa alimentos SAS S.A.S.* [En línea]
Available at: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6836/1/6122880-2018-2-IQ.pdf>

VELASCO, F., MOLANO, A. & PRAMPARO, L., Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales no domésticas para la remoción de carga orgánica en industria de bebidas no alcohólicas. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 13(26), pp. 17-26.

YÁNEZ, L., FRANO, P., BASTIDAS, W. & CÓRDOVA, V., Summary of national plan for the integrated and integral management of water resources and the basins and watersheds of Ecuador. *Aqua LAC*, 9(2), pp. 124-132.

ZAMORA, S. et. al. Impact of Ornamental Vegetation Type and Different Substrate Layers on Pollutant Removal in Constructed Wetland Mesocosms Treating Rural Community Wastewater. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7(8), p. 531.

ZARUMA ARIAS, P., PROAL NÁJERA, J., HERNÁNDEZ, I. & SALAS AYALA, I., Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión. *Facultad de Ciencias Químicas*, Issue 19, pp. 38-47.



ANEXOS

ANEXO A: PUNTOS DE MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE MUESTRA

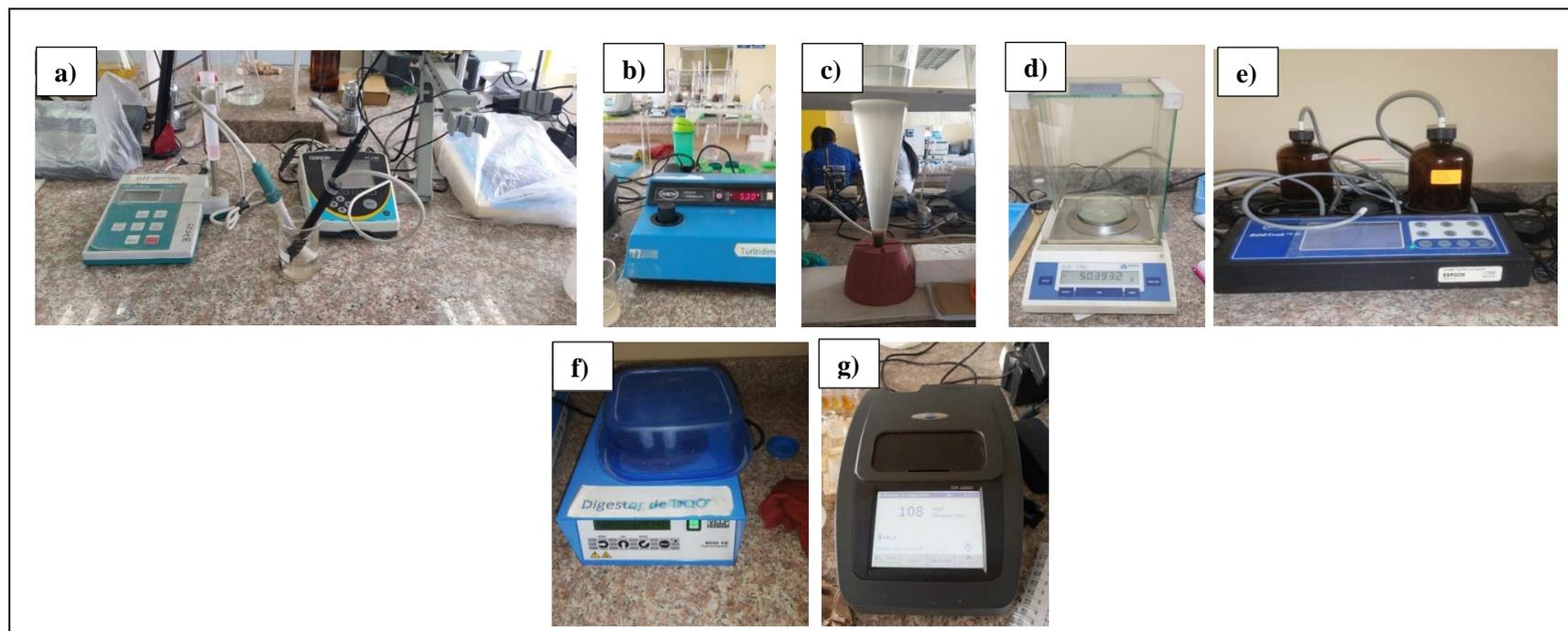


NOTAS	TEMA	 esPOCH ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ING. AMBIENTAL	LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Instalaciones de la empresa b) Tanque de almacenamiento del agua c) Toma de muestra d) Recolección de la muestra en los puntos	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL “MIS FRUTALES” UBICADA EN LA PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO	REALIZADO POR: Asqui Usca Yomaira Estefania	1/4	A4	22/03/2023

ANEXO B: MEDICIÓN DEL CAUDAL

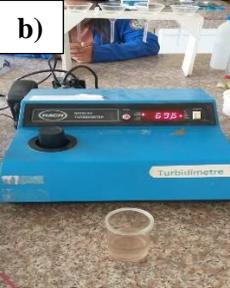
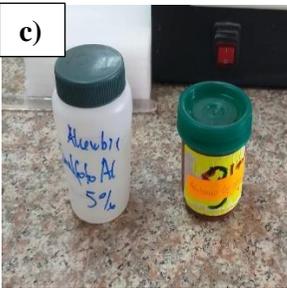
								
NOTAS	TEMA	 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ING. AMBIENTAL REALIZADO POR: Asqui Usca Yomaira Estefania				LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Punto de medición de caudal en la empresa. b) Medición del caudal: 1° Semana c) Implementos para la medición del caudal	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL “MIS FRUTALES” UBICADA EN LA PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO	2/4	A4	22/03/2023				

ANEXO C: ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICOS DEL AGUA RESIDUAL



NOTAS	TEMA	 espoCh ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ING. AMBIENTAL REALIZADO POR: Asqui Usca Yomaira Estefania	LÁMINA	ESCALA	FECHA
a) Medición de pH y conductividad b) Medición de Turbiedad c) Determinación de sólidos sedimentables d) Determinación de sólidos totales e) Determinación de DBO ₅ f) Determinación de DQO en el digestor g) Medición en espectrofotómetro	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL “MIS FRUTALES” UBICADA EN LA PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO		3/4	A4	22/03/2023

ANEXO D: ANÁLISIS DE PRUEBA DE TRATABILIDAD: TEST DE JARRAS

						
						
NOTAS	TEMA	 espol ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ING. AMBIENTAL	LÁMINA	ESCALA	FECHA	
<p>a) Medición de pH inicial</p> <p>b) Medición de Turbiedad</p> <p>c) Coagulantes comerciales químicos</p> <p>d) Determinación del coagulante óptimo</p> <p>e) Muestras de agua residual</p> <p>f) Ejecución de prueba de jarras con el coagulante.</p> <p>g) Resultados de la prueba de Jarras</p>	<p>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL “MIS FRUTALES” UBICADA EN LA PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO</p>	<p>REALIZADO POR: Asqui Usca Yomaira Estefania</p>	4/4	A4	22/03/2023	

ANEXO E: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA MUESTRA INICIAL



LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 20 de enero del 2023
Análisis solicitado por: Srta. Yomaira Asqui
Tipo de muestras: Agua Residual Industrial MIS FRUTALES
Localidad: Parroquia San Luis, Cantón Riobamba

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados Muestra
Nitrógeno total	mg/L	4500-N _{org} -C	44.7
N-Nitritos	mg/L	4500-NO ₂ -B	0.1
N-Nitratos	mg/L	4500-NO ₃ -E	18.0
Fosforo total	mg/L	4500-P-D	18.5
Sulfatos	mg/L	4500-SO ₄ -E	120.0
Sulfuros	mg/L	4500-S ⁻² -E	128.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	930.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	660.0
Grasas y Aceites	mg/L	5520-B	27.6
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-D	20.0
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-F	8.0
Sólidos Disueltos	mg/L	2540-C	631.7
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1 088.0
Coliformes Fecales	UFC/100mL	9222-D	7.8 x 10 ⁷

* Métodos de análisis del Standard Methods APHA AWWA.

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TECNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada



CS Escaneado con CamScanner

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid 9
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio 📍
Riobamba - Ecuador

saqmic

ANEXO F: RESULTADOS DE LABORATORIO DE LA MUESTRA TRATADA



saqmic

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Fecha: 16 de marzo del 2023

Análisis solicitado por: Yomaira Asqui

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada INDUSTRIAL TRATADA

Localidad:

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-D	597
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	194
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	135
Sulfuros	mg/L	4500-S-E	17.6
Fosfatos	mg/L	4500-P-D	1.35
Aceites y grasas	mg/L	5520-B	16.8
Sólidos Totales	mg/L	2540-B	1 240.0

Observaciones:

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.

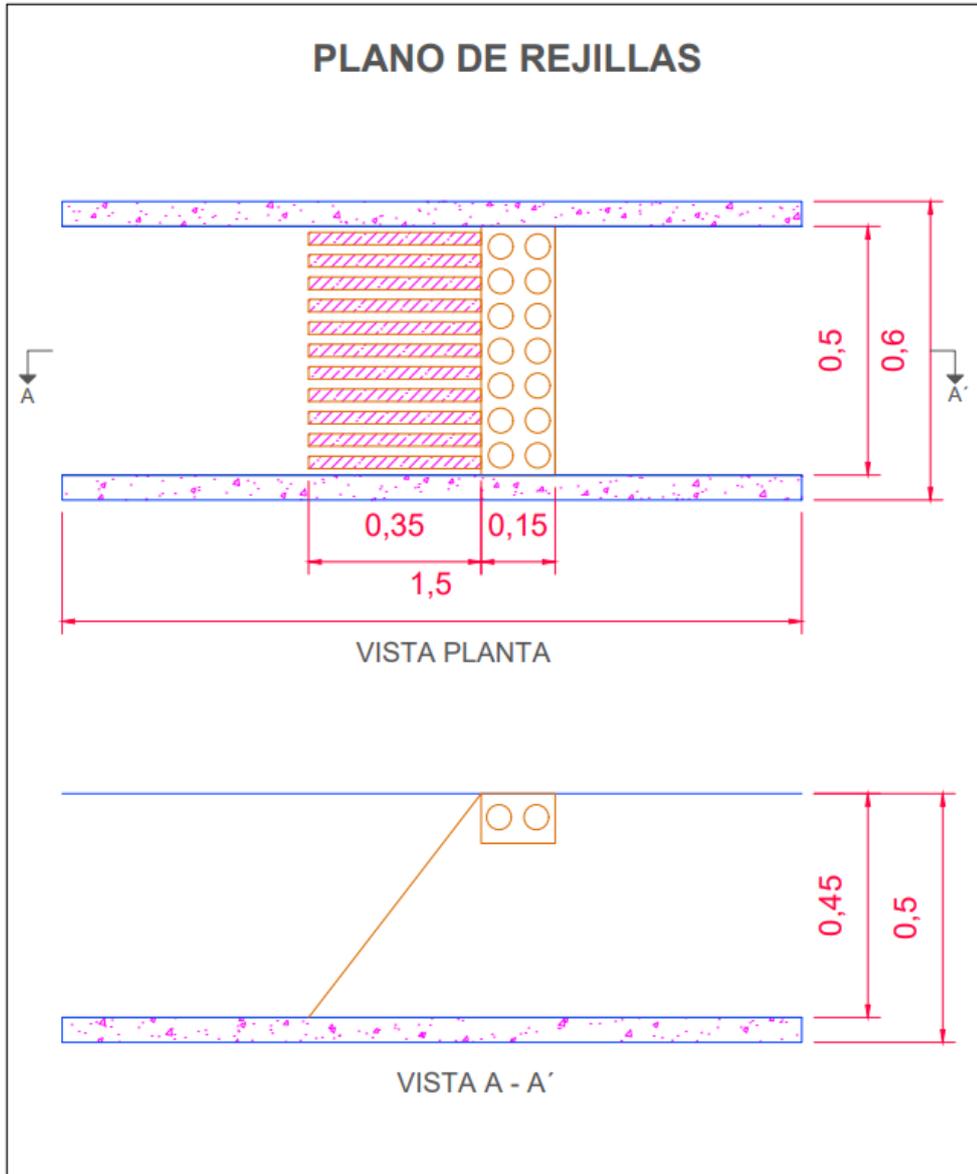
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador

saqmic

ANEXO G: PLANO DEL SISTEMA DE REJILLAS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL "MIS FRUTALES" UBICADA EN LA PARROQUIA DE SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO

CONTIENE:
Plano del sistema de Rejillas y Corte Longitudinal

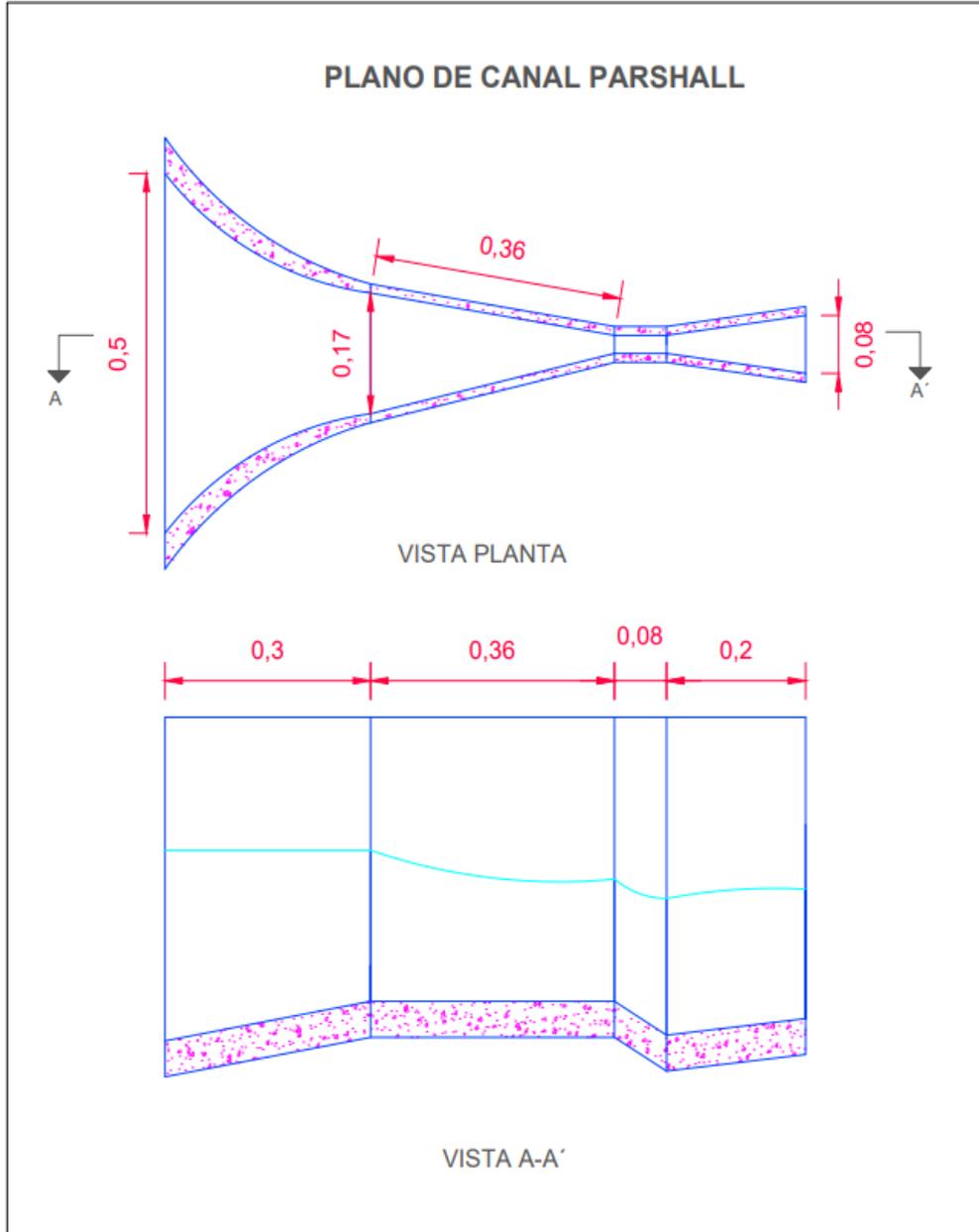
Realizado por:
Asqui Usca Yomaira Estefania

Fecha:
21-04-2023

Escala:
1:10

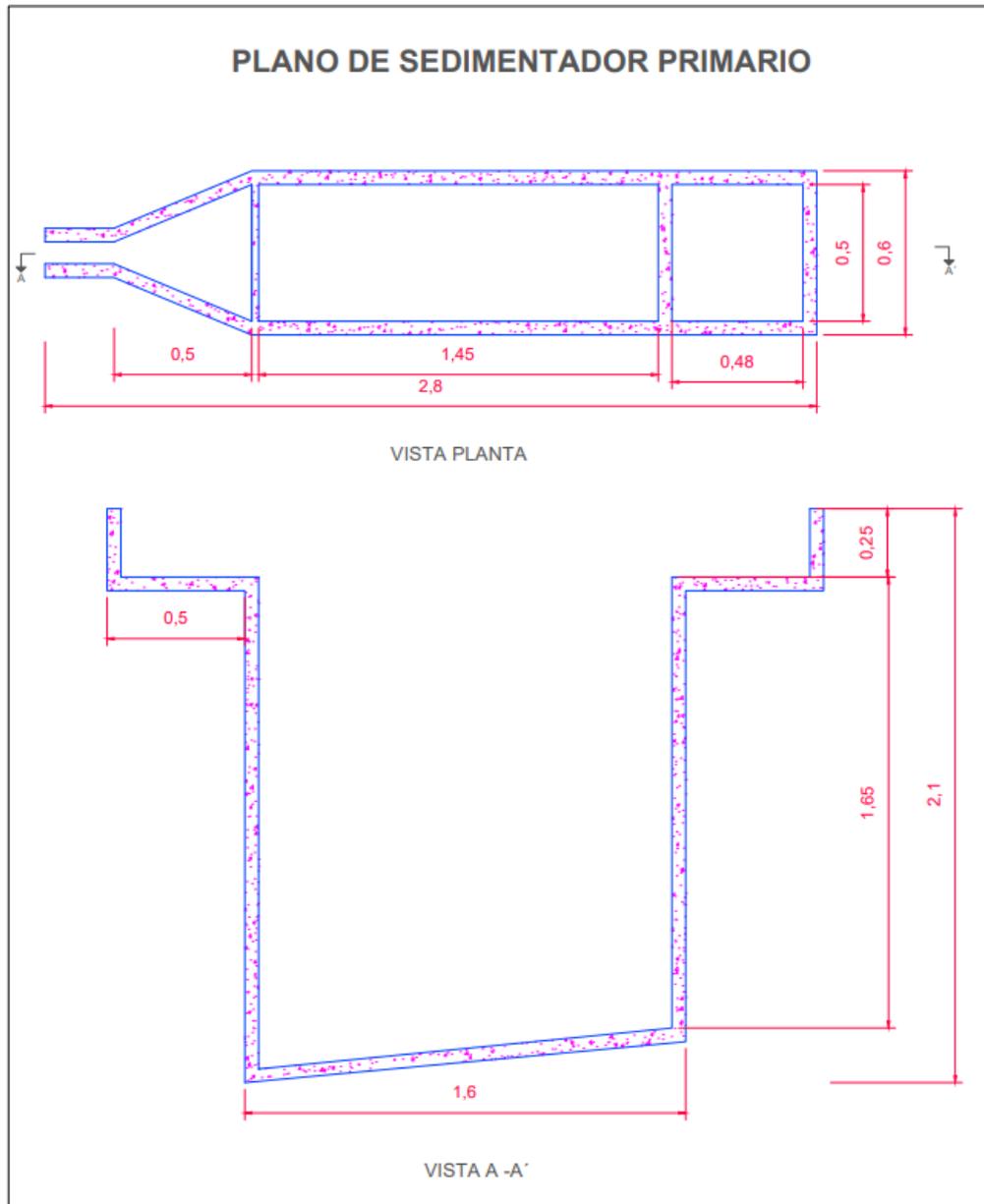
N° Plano:
1/7

ANEXO H: PLANO DE CANAL PARSHALL



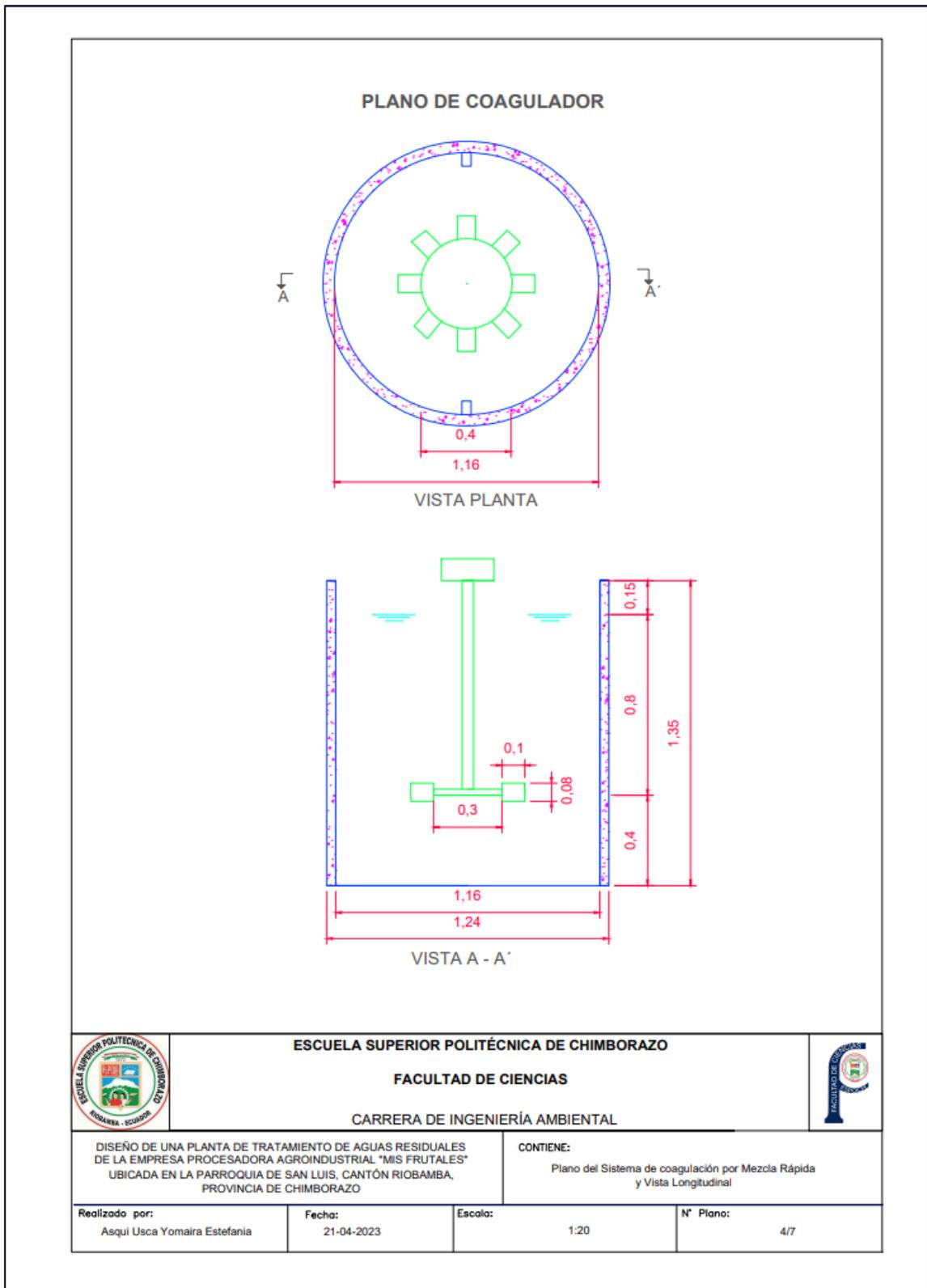
	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	
<p>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL "MIS FRUTALES" UBICADA EN LA PARROQUIA DE SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO</p>		<p>CONTIENE: Plano del Sistema de Aforador Parshall con su Vista Longitudinal</p>
<p>Realizado por: Asqui Usca Yomaira Estefania</p>	<p>Fecha: 21-04-2023</p>	<p>Escala: 1:10</p>
		<p>N° Plano: 2/7</p>

ANEXO I: PLANO DE SEDIMENTADOR PRIMARIO

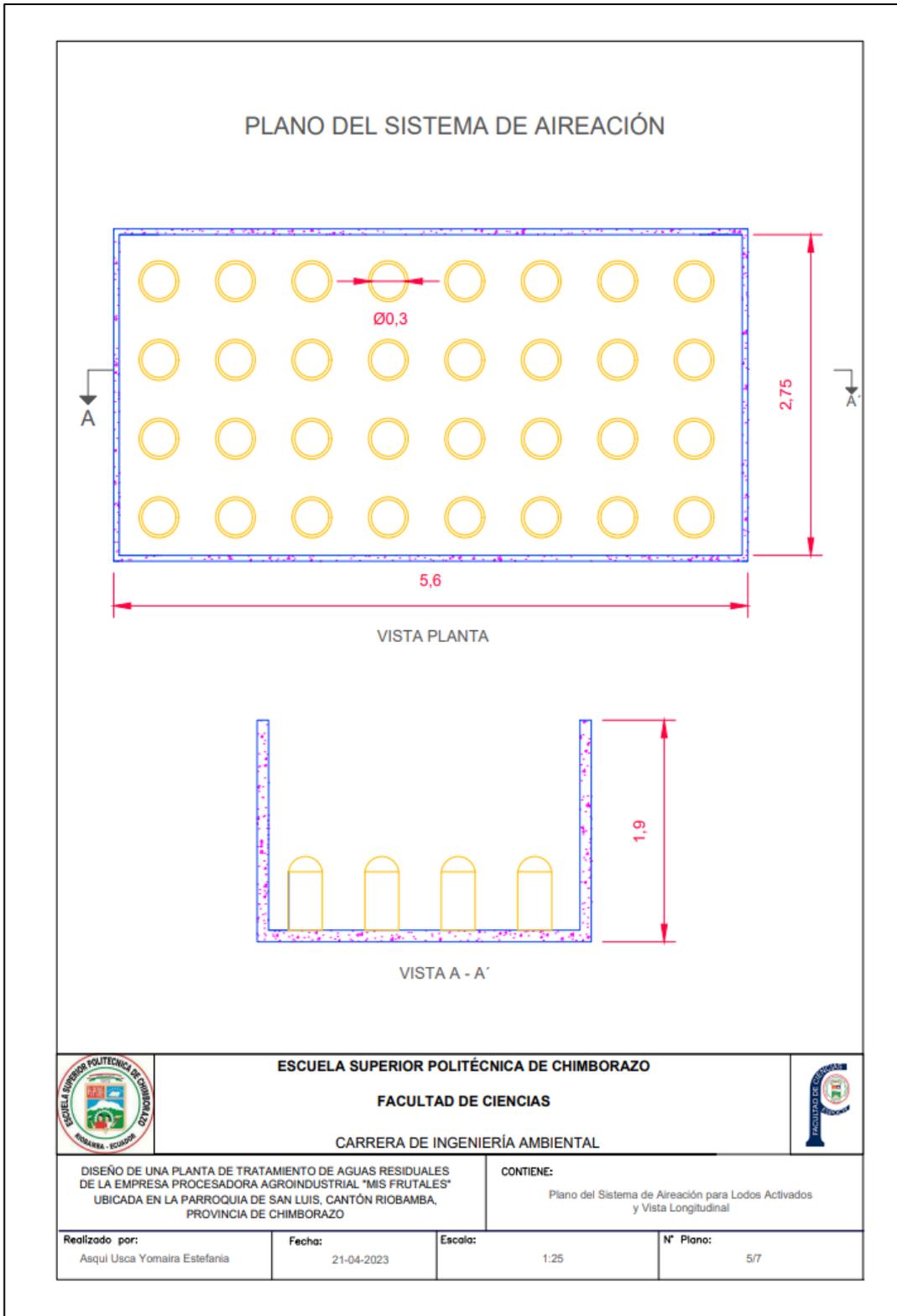


	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
	DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL "MIS FRUTALES" UBICADA EN LA PARROQUIA DE SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO	CONTIENE: Plano de Sedimentador Primario y Vista Longitudinal	
Realizado por: Asqui Usca Yomaira Estefania	Fecha: 21-04-2023	Escala: 1:20	N° Plano: 3/7

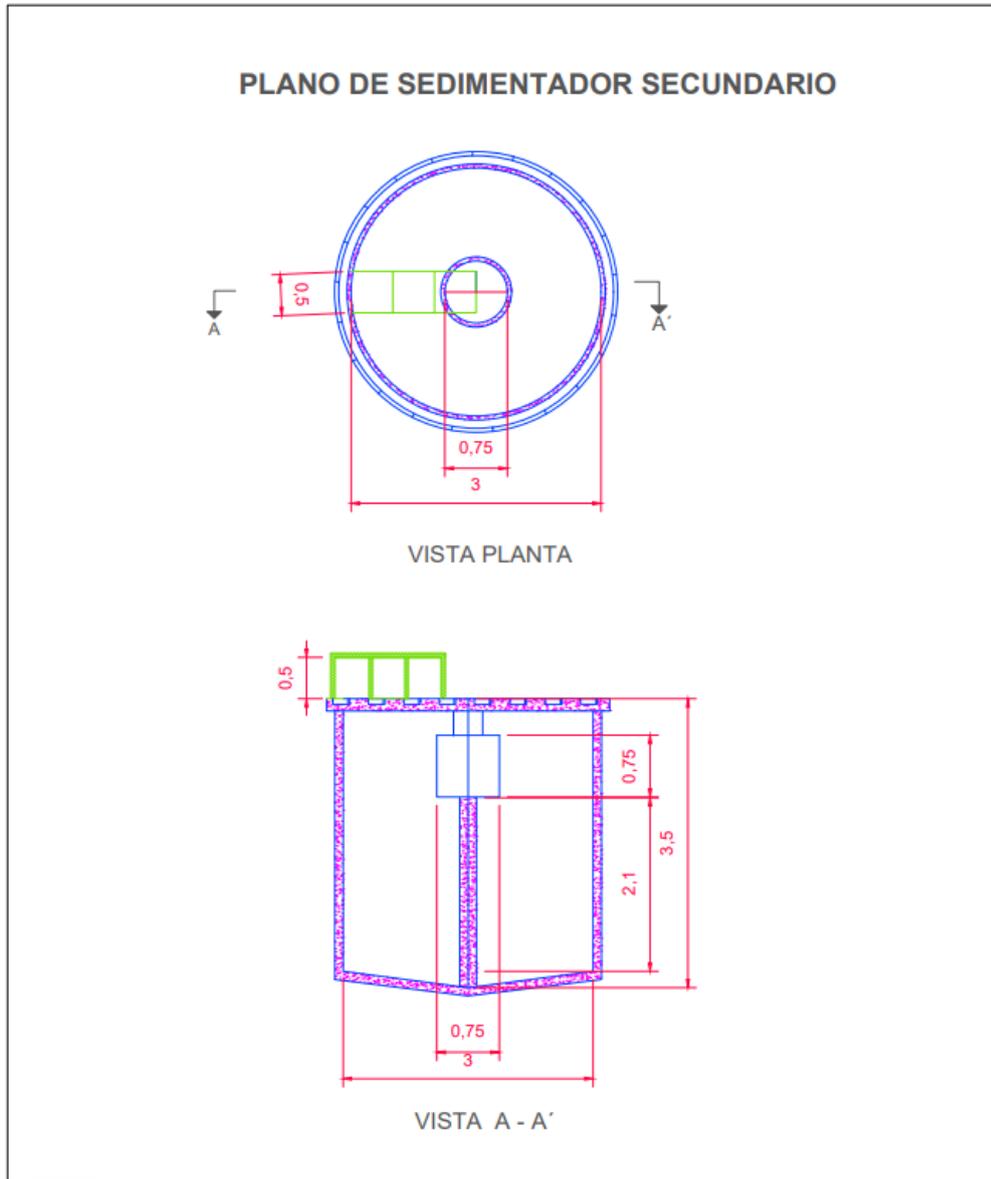
ANEXO J: PLANO DE TANQUE DE COAGULACIÓN



ANEXO K: PLANO DE LODOS ACTIVADOS: SISTEMA DE AIREACIÓN



ANEXO L: PLANO DE LODOS ACTIVADOS: SEDIMENTADOR SECUNDARIO

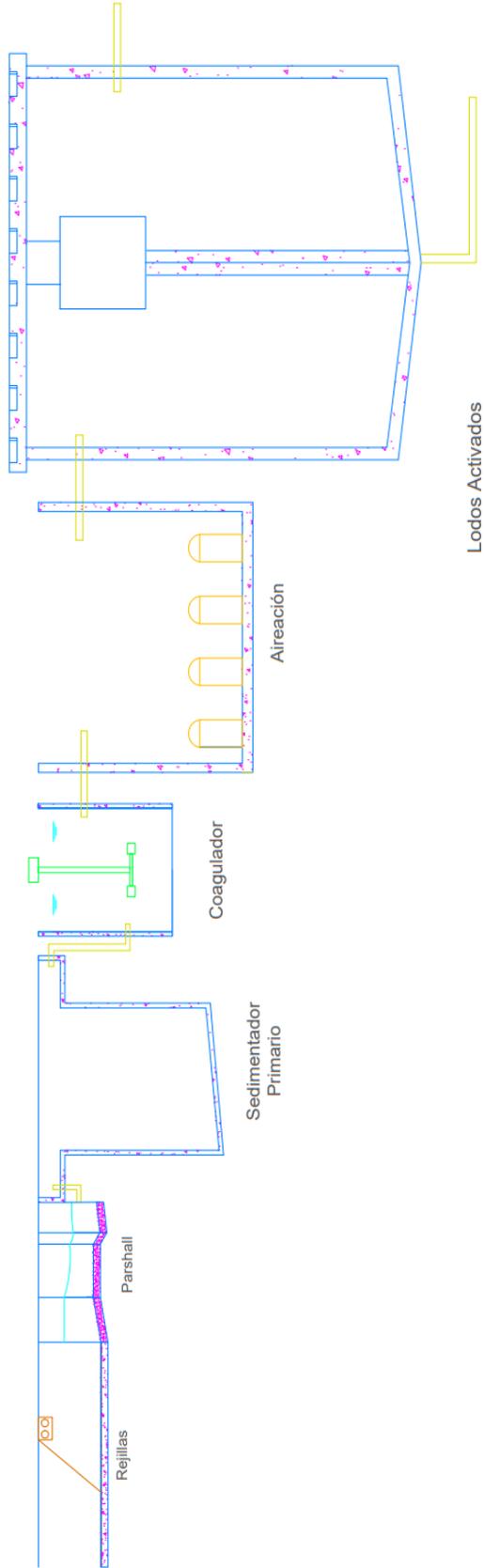


	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL "MIS FRUTALES" UBICADA EN LA PARROQUIA DE SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO		CONTIENE: Plano de Sedimentador Secundario para el Sistema de Lodos Activados
Realizado por: Asqui Usca Yomaira Estefania	Fecha: 21-04-2023	Escala: 1:15
		N° Plano: 6/7

ANEXO M: PLANO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

CORTE LONGITUDINAL



Sedimentador Secundario

 <p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL</p>	<p>CONTIENE: Plano del Sistema de Planta de Tratamiento en Corte Longitudinal</p>	
	<p>DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA PROCESADORA DE AGROALIMENTOS Y ALIMENTOS PARA ROQUÍA DE SAN LUIS, CANTÓN RIGOBAMA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO</p>	<p>Fecha: 21-04-2023</p>
<p>Realizado por: Alejandra Yomara Estefanía</p>	<p>N° Plano: 717</p>	



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 16 / 08/ 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Yomaira Estefania Asqui Usca
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



1571-DBRA-UPT-2023