



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudio de Postgrado  
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**DISEÑO DE UNA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO  
BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA FÁBRICA DE  
ALIMENTOS**

**Ing. Ricardo Ivan Monterroso Lucas**

Asesorado por MBA. Carlos Estuardo Ordoñez Villatoro

Guatemala, noviembre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO  
BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA FÁBRICA DE  
ALIMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. RICARDO IVAN MONTERROSO LUCAS**  
ASESORADO POR MBA. CARLOS ESTUARDO ORDOÑEZ VILLATORO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic Garcia
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	MSc Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	MSc Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	MSc Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	MSc Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
SECRETARIA	MSc Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### DISEÑO DE UNA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA FÁBRICA DE ALIMENTOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudio de Postgrado, con fecha 05 de abril de 2017.



**Ing. Ricardo Ivan Monterroso Lucas**

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme salud, sabiduría, fortaleza y ser la luz que guía e ilumina mi camino.
<b>Mis padres</b>	Dante Danilo Monterroso Moran y Lidia Elizabeth Lucas España, por ser quienes me dieron la vida, por su apoyo y su amor.
<b>Mis hermanos</b>	Dante Danilo, Danilo Antonio Monterroso Lucas y Romeo Fidel López Pelico, por su apoyo, por sus consejos y sus ánimos en los momentos difíciles.
<b>Mi abuelo</b>	Julio Víctor Lucas, por ser mi ejemplo de lucha, fuerza y sabiduría.
<b>Mi novia</b>	Mabel Madrid, Por su paciencia, por su apoyo y por sus consejos.
<b>Mis sobrinos</b>	Pablo David Monterroso Contreras y Diego Andrés Monterroso Villatoro por su amor y por los bueno momentos compartidos.
<b>Mis amigos</b>	Por su amistad y por las vivencias compartidas, especialmente a Sergio Ordoñez por sus consejos, apoyo, por estar en los buenos y malos momentos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la entidad que me permitió seguir con mi formación profesional, además de prepararme para enfrentar distintos retos del ámbito laboral.
<b>Escuela de Postgrados</b>	Por aperturar la posibilidad de escalar un peldaño más en mi carrera profesional.
<b>MBA. Carlos Ordoñez</b>	Por su amistad, apoyo y asesoría en el desarrollo de mi trabajo de graduación.
<b>MA. José Rosal</b>	Por la asesoría a mi trabajo de graduación y el constante seguimiento, para la realización del mismo.
<b>Ing. Max Gutiérrez</b>	Principalmente por su amistad, además del apoyo y confianza brindada en cada uno de los proyectos ejecutados en la empresa Nestlé Malher S.A., permitiéndome tener un crecimiento profesional y laboral.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-032

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente titulado: **"DISEÑO DE UNA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA FÁBRICA DE ALIMENTOS"** presentado por el Ingeniero Mecánico Industrial **Ricardo Ivan Monterroso Lucas**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

*"Id y Enseñad a Todos"*

*Pedro Antonio Aguilar Polanco*  
MSc. Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2017-032

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE UNA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA FÁBRICA DE ALIMENTOS"** presentado por el Ingeniero Mecánico Industrial **Ricardo Ivan Monterroso Lucas**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Energía y Ambiente; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Director

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE  
INGENIERÍA - USAC  
**EP**  
ESCUELA DE  
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

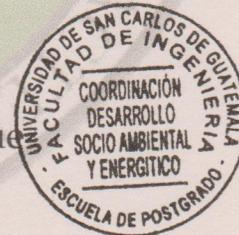
APT-2017-032

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Energía y Ambiente del Trabajo de Graduación titulado **"DISEÑO DE UNA PLANTA MODULAR DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES PARA UNA FÁBRICA DE ALIMENTOS"** presentado por el Ingeniero Mecánico Industrial **Ricardo Ivan Monterroso Lucas**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

MSc. Juan Carlos Fuentes Montepeque  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, noviembre de 2017.

Cc: archivo/la

**Doctorado:** Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
RESUMEN MARCO METODOLÓGICO.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Planta de tratamiento de aguas residuales.....	1
1.2 Tipos de tratamiento de aguas residuales.....	1
1.2.1. Tratamientos preliminares.....	2
1.2.1.1. Las rejillas.....	2
1.2.1.2. Micro filtros.....	2
1.2.1.3. Tamices.....	2
1.2.2. Tratamientos primarios.....	3
1.2.3. Tratamientos secundario.....	4
1.2.4. Tratamientos terciarios.....	5
1.3 Sistemas anaeróbicos y aeróbicos.....	5
1.3.1. Sistema anaeróbicos.....	5
1.3.2. Sistema aeróbicos.....	7
1.4 Cuerpos de relleno.....	8
1.5 Caracterización de aguas residuales.....	9

1.6	Tratamiento de lodos.....	10
2.	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	15
2.1.	Definición de parámetros .....	15
2.2.	Mapeo de puntos de captación .....	16
2.3.	Caracterización de aguas.....	24
3.	PROPUESTA DE DISEÑO.....	29
2.4.	Tubería.....	39
2.5.	Fosa de captación de aguas residuales .....	40
2.6.	Equipos propuestos y descripción técnica .....	43
2.6.1.	Rejillas para tratamiento primario.....	44
2.6.2.	Bomba de levantamiento inicial.....	45
2.6.3.	Criba.....	45
2.6.4.	Módulo de tratamiento.....	46
2.6.5.	Regulador de PH.....	49
2.6.6.	Mezcladores .....	50
2.6.7.	Medidor de flujo.....	51
2.6.8.	Difusores y compresores.....	52
2.6.9.	Decantador lamelar .....	53
2.6.10.	Fosa de captación de lodos y bomba de recirculación .....	54
2.6.11.	Bomba dosificadora de cloro.....	57
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	59
3.1.	Comparación de parámetros de caracterización vrs ley local en sus distintas etapas.....	59
3.2.	Presupuesto.....	67
5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	69

4.1.	Comparación de parámetros de caracterización vrs ley local en sus distintas etapas. ....	69
4.2.	Presupuesto de inversión. ....	71
CONCLUSIONES .....		73
RECOMENDACIONES.....		75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		77
ANEXOS.....		79



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Líneas más comunes en el tratamiento de lodos .....	11
2. Fosa séptica para aguas residuales de cafetería .....	17
3. Fosa séptica para aguas residuales de garita .....	18
4. Torres de enfriamiento .....	19
5. Cuarto de calderas .....	19
6. Lavadora rotatoria, línea de chile .....	20
7. Equipo para preparar salmuera .....	21
8. Drenajes de fábrica .....	22
9. Unidad de tratamiento de aguas especiales.....	23
10. Pozo de visita del punto de muestreo de aguas residuales especiales..	24
11. Pozo de absorción al final de proceso de tratamiento de aguas especiales .....	25
12. Proceso de tratamiento de aguas residuales propuesto .....	29
13. Diagrama del trabajo real de un compresor .....	38
14. Fosa de captación vista lateral .....	41
15. Fosa de captación vista de planta .....	42
16. Equipos planta de tratamiento de aguas residuales propuesta .....	43
17. Equipos planta de tratamiento de aguas residuales propuesta .....	44
18. Bomba sumergible de levantamiento .....	45
19. Criba.....	46
20. Módulo de tratamiento vista lateral.....	48
21. Módulo de tratamiento vista de planta.....	48

22.Módulo de tratamiento .....	49
23.Regulador de ph .....	49
24.Motor de mezcladores.....	50
25.Mezclador .....	50
26.Medidor de flujo electromagnético .....	51
27.Bomba controlador del flujo .....	51
28.Difusores.....	52
29.Compresores .....	53
30.Decantador lamelar.....	54
31.Fosa de captación de lodos vista lateral .....	55
32.Fosa de captación de lodos .....	56
33.Bomba de recirculación de lodos .....	56
34.Bomba dosificadora de cloro.....	57
35.Gráfico ph de 2014-2016 .....	61
36.Gráfico nitrógeno de 2014-2016 .....	61
37.Gráfico sólidos suspendidos 2014-2016 .....	62
38.Gráfico grasas y aceites 2014-2016 .....	62
39.Gráfico DBO de 2014-2016.....	63
40.Localización de fosas sépticas de planta .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

I.	Límites máximos permisibles de descargas en cuerpos receptores.....	13
II.	Resultados del análisis del efluente de la Planta .....	26
III.	Resultados del análisis del efluente de la Planta .....	27
IV.	Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público .....	28
V.	Velocidad media en tuberías para plantas de tratamiento de aguas residuales .....	32
VI.	Especificación de caudales y potencias de los tipos de compresores .....	39
VII.	Cuadro comparativo de cumplimiento de parámetros por etapa .....	59
VIII.	Cuadro comparativo de parámetros en caracterización del año 2014 al año 2016.....	60
IX.	Valores de la relación DQO/DBO5.....	64
X.	Modelo de reducción progresiva fábrica de alimentos .....	64
XI.	Modelo de remoción esperada para proyección de parámetros a alcanzar .....	65
XII.	Proyección de parámetros a alcanzar con tratamiento propuesto .....	66
XIII.	Valores de los parámetros exentos de medición en las aguas residuales .....	67
XIV.	Cuadro de inversión del proyecto .....	68
XV.	Modelo de reducción progresiva de carga de demanda bioquímica de oxígeno .....	79
XVI.	Coordenadas de sistemas fosa séptica-pozo de absorción .....	80



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
AR	Aguas residuales
Q	Caudal.
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
P	Fósforo
°C	Grados centígrados
l/s	Litros por segundo.
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
m <sup>3</sup> /día	Metros cúbicos por día
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundo.
m/s	Metros por segundo
mg/l	Miligramos por litro
N	Nitrógeno
OD	Oxígeno disuelto
ppm	Partes por millón
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
pH	Potencial de hidrogeno
SD	Sólidos disueltos.
SST	Sólidos suspendidos totales
T	Temperatura
t	Tiempo



## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	La incorporación de una sustancia en otra
<b>Aerobio</b>	Microorganismos que necesitan de oxígeno libre para vivir.
<b>Aguas negras</b>	Combinación de líquidos o desechos acarreados por agua proveniente de zonas residenciales, comerciales, escolares e industriales.
<b>Anaerobio</b>	Microorganismos que no necesitan de oxígeno libre, para vivir tomándolo de la materia que lo rodea.
<b>Bacteria</b>	Organismos unicelulares microscópicos. No necesitan de luz para su proceso de vida.
<b>Caudal</b>	Volumen de fluido que pasa por una superficie en un tiempo determinado, usualmente se representa con al letra Q y también se le conoce como tasa de flujo de fluidos.
<b>Contaminación</b>	Presencia en la atmosfera, agua o tierra de sustancias resultantes de las actividades humanas o procedentes de proceso naturales que ocasionan efectos negativos en el hombre y en el medio ambiente.

<b>DBO</b>	La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura especificados.
<b>Descarga</b>	Vertido de las aguas provenientes del colector principal, crudas o tratadas; en un cuerpo receptor.
<b>Desechos orgánicos</b>	Son los que provienen de la materia viva, e incluyen restos de alimentos, papel, cartón y estiércol.
<b>DQO</b>	La cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua.
<b>Sólidos</b>	Cuerpos cuyas moléculas tienen entre sí mayor cohesión que la de los líquidos.
<b>Sedimentación</b>	Formación de sedimentos que se van acumulando, a través del tiempo.
<b>Suspensión</b>	Estado de un cuerpo dividido en partículas muy finas y mezclado con un fluido sin disolverse en él.
<b>Criba</b>	Equipo utilizado para el tratamiento del agua como filtración mecánica para la captación de sólidos finos, les proponemos la instalación de una rejilla de trabajo y de limpieza manual.

<b>Tratamiento</b>	La remoción en las aguas negras, por métodos físicos, químicos y biológicos, de materia en suspensión, coloidal o disuelta.
<b>Tratamiento de aguas</b>	Se llama así al proceso artificial a que se someten las aguas negras o residuales, para descontaminarlas, haciéndolas menos peligrosas y molestas.
<b>Tratamiento biológico</b>	Proceso de tratamiento, en los cuales se intensifica la acción de los microorganismos, para estabilizar la materia orgánica presente.



## RESUMEN

En Guatemala, el tratamiento de aguas residuales es un problema latente que representa un riesgo alto de contaminación a los recursos hídricos, debido al desfogue de aguas industriales y aguas negras sin un debido proceso de tratamiento, además de los desechos sólidos que se depositan en dichos recursos.

El problema se da tanto en sector público como gubernamental, ya que el incumplimiento de ambos sectores tiene como consecuencia la afectación al ecosistema, sumado a la falta de control y seguimiento de las autoridades locales a pesar de estar en vigencia el Acuerdo Gubernativo 236-2006 que regula la descarga y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos para contrarrestar la contaminación de afluentes generada por la descarga directa e indirecta de aguas servidas domésticas e industriales, y El Acuerdo Gubernativo 129-2015 que exige a todas las municipalidades tener plantas de tratamiento de aguas residuales antes del 2 de mayo de 2017.

Este estudio tiene como finalidad presentar una propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una fábrica de alimentos, ubicada en el Tejar Chimaltenango, aportando a la empresa el proceso adecuado de tratamiento y obteniendo de esta forma, la calidad de agua deseada para estar en cumplimiento con la ley guatemalteca.

En esta propuesta, se especifican los procesos de recolección de información de datos y análisis para determinar los equipos necesarios,

procesos, métodos e instalaciones, para garantizar el correcto funcionamiento de la planta y los servicios adecuados para hacer eficiente el proceso.

El estudio es de beneficio no solo para la empresa sino también para la población del Tejar Chimaltenango, ya que de ejecutarse dará como resultado el correcto tratamiento de las aguas de proceso, enviando al desagüe municipal aguas con la calidad necesaria para no perjudicar a la población de dicho lugar y evitar contaminaciones que puedan tener fuertes consecuencias para esta área.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema central es el no cumplimiento de los parámetros de descarga de aguas de proceso que indica el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos” en su fase 3, en una industria alimenticia.

En el último análisis de aguas residuales, se obtuvo los siguientes parámetros: temperatura 23 °C, Grasas y aceites 16 mg/l, Sólidos suspendidos 320 mg/l, Nitrogeno 45 mg/l-N, Fósforo 15.4 mg/-P, pH 7.8, DQO 3870 mg/l-O<sub>2</sub>, DBO 900 mg/l-O<sub>2</sub>, Color 561 U pt-Co, esto permite estar en cumplimiento con la norma local en un 65 % y en referencia a la norma de la empresa en un 20 %.

El tratamiento que se le está realizando al agua no es el correcto debido a no tener los equipos adecuados ni el proceso para hacerlo. El proceso actual es una fosa séptica y luego un poso de absorción, además no se tienen los controles adecuado y las medias para tratamiento de aguas son muy empíricos lo que hace el proceso ineficiente.

No se tiene un plan bien definido para el tratamiento y tampoco una frecuencia establecida para aplicación de químicos. Debido a no lograr los parámetros de aguas establecidos se tiene un riesgo potencial de contaminación al manto freático y agua de pozos cercanos, además del incumplimiento a ley local y llegar a incurrir en multas.

Consecuente a lo planteado anteriormente, se formula la siguiente pregunta:

¿Cuál es el diseño de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales que debe tener una fábrica de alimentos empacadora de Chile y frijol?

#### Preguntas auxiliares

1. ¿Cuáles son los parámetros actuales del agua residual de la fábrica?
2. ¿Qué diseño será el más efectivo para el tratamiento de aguas de proceso y estar en cumplimiento con la ley local e internacional?
3. ¿Cuál es la inversión para el tratamiento de las aguas residuales?
4. ¿Qué parámetros de calidad del agua que se podrán obtener con el diseño propuesto de la planta de tratamiento?

# OBJETIVOS

## General

Diseñar una planta de tratamiento biológico de aguas residuales, para una fábrica de alimentos productora de chile y frijol en lata.

## Específicos

1. Determinar cuáles son los parámetros actuales de calidad del agua residual.
2. Definir el diseño adecuado de la planta de tratamiento biológico de aguas residuales, para realizar un correcto tratamiento y cumplir con lo indicado en la ley local e internacional que rige a la empresa en estudio.
3. Determinar cuál es la inversión necesaria para el tratamiento adecuado de las aguas residuales del proceso productivo.
4. Establecer los parámetros de calidad del agua que se podrán obtener con el diseño propuesto de la planta de tratamiento.



## RESUMEN MARCO METODOLÓGICO

El estudio realizado es de tipo cuantitativo descriptivo, propone el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales a partir de una caracterización compuesta de las aguas resultantes del proceso productivo y servicios de una fábrica productora de chile y frijol ubicada en el Tejar Chimaltenango.

Actualmente, el proceso de tratamiento de aguas residuales que se utiliza en la fábrica es una serie de filtros para colección de sólidos previos a conectarse a una fosa séptica, en la cual se realiza la aplicación de soda cáustica para neutralización del pH y luego se direcciona el agua a un poso de absorción.

La recolección de datos inició con la obtención de los registros de las últimas dos caracterizaciones realizadas para conocer las condiciones de las aguas residuales y tener una base de comparación. Una parte importante de la investigación fue definir los parámetros que como mínimo deben medirse para controlar el proceso y dar el tratamiento adecuado, los cuales fueron: temperatura, DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos suspendidos, nitrógeno, pH y fosforo. También se realizó un diagrama de flujo y recorrido para conocer el proceso y un mapeo de los distintos puntos de desfogue para conocer las fuentes de generación de aguas residuales y sus posibles contaminantes. Para la caracterización de aguas residuales se utilizaron los siguientes equipos: termómetro, Potenciómetro o Phmetro, y medidor de conductividad PCE-CM 41, una botella Van Dorn, Kemmerer, una garrafa, Un baldes plásticos de 10 L de capacidad, un tubo plástico para homogenización de la muestra compuesta, una probeta plástica graduada de 1000 mL., un cronómetro, 2 hieleras de icopor

con suficientes bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 4°C y un frasco lavador.

Otro aspecto que se tomó en consideración, el cual es fundamental para el correcto diseño de una planta de tratamiento es el caudal de ingreso y salida del proceso, el cual se midió con un caudalímetro o medidor de flujo, con esta información se pudo dimensionar la capacidad de captación (volumen) de la planta y la capacidad del equipo para hacer el tratamiento biológico.

Con los resultados obtenidos, se realizó el análisis de la información, mediante la interpretación de los mismos y comparación con datos teóricos de diseño. Con dicha información, se realizó una proyección de los parámetros que se desean obtener colocándolos en una tabla, la cual permitió hacer el cálculo de diseño de las fosas de captación de aguas, las fosas de captación de lodos, se dimensiono las tuberías de drenajes, el suministro de aire comprimido con sus respectivos compresores, la acometida eléctrica y su distribución, las bombas del sistema en los diversos procesos de la planta, además se realizó la propuesta de los equipos complementarios que requiere la planta de tratamiento para su correcto funcionamiento.

Se trabajó en la metodología de control y monitoreo de los diversos parámetros y las acciones a realizar para tener controlado el proceso y de esta manera lograr los resultados esperados. Se establecieron las frecuencias de medición y la disposición final que se va a dar a las aguas y lodos generados.

Con base a lo anterior, se realizó la propuesta de inversión que contempla todos lo referente a compra de equipos, infraestructura, instalaciones, los distintos servicios, análisis de laboratorios, maquinaria, insumos y mano de obra.

Esta propuesta permitirá a la empresa en estudio estar en cumplimiento con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos” en su fase III, además se estará enviando al desagüe municipal aguas con la calidad necesaria para no perjudicar a la población de dicho lugar y evitar contaminaciones que puedan tener fuertes consecuencias para esta área.



## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales generadas en una empresa ya sean resultantes de un proceso productivo o de servicios sanitarios, deben ser tratadas de forma adecuada, para lograr la calidad de descarga establecida en el Acuerdo Gubernativo 2036-2006 “Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos”, ya que de no lograr los parámetros establecidos en dicho acuerdo, se tiene un riesgo potencial de contaminación al manto freático y agua de pozos cercanos, además del incumplimiento a ley local e incurrir en sanciones. Por tal razón, se realiza la propuesta de Diseño de una planta modular de tratamiento biológico de aguas residuales para una fábrica de alimentos ubicada en el Tejar Chimaltenango.

En el capítulo uno, se define que es una planta de tratamiento de aguas residuales, las distintas etapas que se realizan en el proceso de tratamiento y como es su funcionamiento. En la primera parte de este capítulo se especifican los tipos de tratamiento que pueden efectuarse y los equipos e insumos que se necesitan para cada uno de ellos. Posteriormente se explica la diferencia de los sistemas aeróbicos y anaeróbicos en el proceso biológico.

En la segunda parte del capítulo uno, se explica qué es una caracterización de aguas y los parámetros que esta debe incluir; también se detalla la metodología del tratamiento de lodos y el flujo adecuado para su correcta disposición final.

En el capítulo dos se lleva a cabo la recolección y análisis de datos. Este capítulo inicia con la definición de los parámetros que se van a analizar y

el mapeo de puntos de desfogue de aguas residuales para establecer la forma y lugar de captación para su posterior tratamiento. Luego se explica la metodología utilizada para la caracterización de las aguas residuales de la fábrica en estudio; además de hacer un comparativo con las caracterizaciones realizadas en años anteriores. Se realizan las mediciones mediante una caracterización compuesta de aguas residuales, en los distintos puntos de desfogue, lo que permite conocer el caudal de salida de proceso y de servicios sanitarios.

En el capítulo tres se presenta la propuesta del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales con base a los datos obtenidos en el capítulo anterior. Esta sección inicia con la definición del proceso de tratamiento a realizar, el cual establece y detalla cada etapa con la secuencia que debe seguirse. Seguidamente se muestran las fórmulas, cálculos y métodos utilizados para establecer los equipos, tuberías e instalaciones necesarias para el proceso. El diseño correcto de una planta de tratamiento de aguas residuales permite establecer cuáles son las instalaciones necesarias, especificar los equipos apropiados para el correcto funcionamiento de la misma, permite definir cuál es la ubicación correcta y los servicios adecuados para hacer eficiente el proceso.

En la segunda parte de este capítulo, se presenta el diseño de la fosa de captación de agua acorde al volumen establecido en los cálculos anteriormente realizados; también se presenta de forma esquemática y de forma descrita cada uno de los equipos e instalaciones que la planta de tratamiento requiere para su correcto funcionamiento.

En el capítulo cuatro se lleva a cabo la presentación de resultados y el detalle de la inversión necesaria para realizar el proyecto propuesto. Se inicia

haciendo una comparación de los parámetros obtenidos versus la ley local para determinar el porcentaje de incumplimiento actual de la fábrica. Posteriormente se grafica la tendencia del comportamiento de los parámetros en incumplimiento utilizando las caracterizaciones realizadas en los últimos dos años hasta la caracterización realizada a finales de 2016.

En este capítulo también se muestra el detalle de la reducción progresiva para cada parámetro en incumplimiento con base al tratamiento propuesto. Seguidamente, se presente el modelo de remoción esperada acorde a las distintas etapas del proceso propuesta, para realizar la proyección de los parámetros que se podrán alcanzar. Por último, en este capítulo se detalla el monto de inversión necesario para la ejecución del proyecto, el cual detalla la cantidad destinada para obra gris, maquinaria, equipos, montaje, instalaciones y transporte.

En el capítulo cinco, se realiza la discusión de resultados. En esta parte, se explican los resultados obtenidos y se interpretan, así obtener las conclusiones pertinentes y las recomendaciones.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Planta de tratamiento de aguas residuales**

Una planta de tratamiento de aguas residuales es una instalación donde a las aguas resultantes de un proceso, servicio o actividad humana se les retiran los contaminantes, para hacer de ella un agua sin riesgos a la salud y/o medio ambiente al disponerla en un cuerpo receptor natural (mar, ríos o lagos) o por su reúso en otras actividades de nuestra vida cotidiana con excepción del consumo humano, por no tener las condiciones adecuadas. (Valencia, 2000).

Las industrias de elaboración de alimentos utilizan el recurso del agua para elaboración de productos y subproductos, modificando su condición inicial de forma parcial o totalmente irreversible. El tratamiento de aguas residuales es un proceso clave en la industria de procesos de esa índole. Las aguas residuales están compuestas por la concentración de materias tóxicas, metales pesados, ácidos y material orgánico, estos elementos indeseables disminuyen la calidad del agua no permitiendo que sea apta para el consumo en la actividad humana. (Lapeña, 2000)

## **1.2. Tipos de tratamiento de aguas residuales**

Los tipos de tratamiento de aguas residuales dependen del tipo de aguas resultante de proceso, a raíz de esto, se puede clasificarlas de la siguiente manera:

## **1.2.1. Tratamientos preliminares**

Este tipo de tratamiento se realiza como antecedentes a los tratamientos primarios, secundarios, o terciarios, pues las aguas residuales pueden venir con desechos muy grandes y voluminosos que no pueden llegar a las plantas de tratamiento y sirven de igual manera, para aumentar la efectividad de estos procesos. Para estos procesos son utilizados las rejillas, los microfiltros y los tamices. (Fair, 1973)

### **1.2.1.1. Las rejillas**

Estas se utilizan para retener todo el material grueso, su principal objetivo es retener basuras, material sólido grueso que pueda afectar el funcionamiento de las bombas, válvulas, aireadores, etc. Se utilizan solamente en los desbastes previos, y sirven para que los desechos no dañen las máquinas. (Fair, 1973)

### **1.2.1.2. Micro filtros**

Los micro filtros son planillas giratorias plásticas o de acero por las cuales circula el agua y recogen los desechos y las basuras en su interior, los micro filtros tiene sistemas de lavado y así puedan mantener las mallas limpias. Dependiendo de la aplicación que tengan se selecciona el tamaño de las mallas para una mejor captación de sólidos. (Fair, 1973)

### **1.2.1.3. Tamices**

Los tamices, con aberturas menores para remover un porcentaje más alto de sólidos, con el fin de evitar atascamiento de tuberías, filtros biológicos, con una abertura máxima de 2.5 mm. Tienen una inclinación particular que deja

correr el agua y hace deslizar los desechos por fuera de la malla. Necesita un desnivel importante entre el punto de alimentación del agua y el de salida, para lograr su función en el proceso. (Fair, 1973)

### **1.2.2. Tratamientos primarios**

El principal objetivo de los tratamientos primarios es remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamiento físicos o físico-químicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o, en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas quelantes (La precipitación química o coagulación es un proceso por el cual se agregan sustancias químicas, para así se dé una coagulación de los desechos y retirar así los sólidos) que hacen más rápida y eficaz la sedimentación. También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoniaco (desorción). Las operaciones que incluye son el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción. (Metcalf, 1998)

El proceso de sedimentación es el que deja asentar por gravedad los sólidos en suspensión en las aguas residuales. Las bacterias que crecen en este medio, junto con otros sólidos, se retiran en un tanque de sedimentación secundario y se hacen entrar de nuevo al tanque de ventilación. En este tipo de tratamiento se pueden retirar de 30 a 35% de los sólidos suspendidos y de un 60 a un 65% de los sólidos sedimentables en las aguas residuales. (Metcalf, 1998)

### **1.2.3. Tratamientos secundario**

Este tipo de tratamiento se utiliza para eliminar desechos y sustancias que con la sedimentación no se eliminaron, para remover las demandas biológicas de oxígeno. Con estos tratamientos secundarios se pueden Expeler las partículas coloidales y similares. Puede incluir procesos biológicos y químicos. Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos. El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que se facilita que bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos). Estos tanques tienen sistemas de burbujeo o agitación que garantizan condiciones aerobias para el crecimiento de los microorganismos. Posteriormente se conduce este líquido a tanques cilíndricos, con sección en forma de tronco de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Separados los lodos, el agua que sale contiene muchas menos impurezas. Una parte de estos lodos son devueltos al tanque para que así haya una mayor oxidación de la materia orgánica y así se dé un mejor tratamiento de las aguas. (Fair, 1973)

Otra forma de realizar un tratamiento secundario es utilizar los biodiscos que están contruidos con un material plástico por el que se esparce una película de microorganismos que se regulan su espesor con el paso y el rozamiento del agua. (Fair, 1973)

También se puede mencionar el lagunaje, este es utilizado en terrenos muy extensos y su duración es de 1/3 días en el proceso de retención. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente, para una buena circulación. (Fair, 1973)

#### **1.2.4. Tratamientos terciarios**

Los tratamientos terciarios consisten en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias. (Metcalf, 1998)

Este tipo de tratamiento se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario. Se ha empleado la filtración rápida en arena para poder eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica de oxígeno. Una mejor posibilidad para el tratamiento terciario consiste en agregar uno o más estanques en serie a una planta de tratamiento convencional. El agregar esos estanques de "depuración" es una forma apropiada de mejorar una planta establecida de tratamiento de aguas residuales, de modo que se puedan emplear los efluentes para zonas verdes, en acuicultura en riego de cultivos. (Metcalf, 1998)

### **1.3 Sistemas anaeróbicos y aeróbicos**

A continuación se definen los sistemas aeróbicos y anaeróbicos en el tratamiento de aguas residuales:

#### **1.3.1. Sistema anaeróbicos**

Un sistema anaeróbico se refiere a la digestión anaerobia, la cual es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no

hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido. (Rojas, 1999)

En un sistema anaeróbico se da el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales. El proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica a metano y de  $\text{CO}_2$ , en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas. La digestión anaerobia es un proceso que se produce en ambientes naturales como los pantanos, en zonas anegadas para el cultivo de arroz, en los sedimentos de lagos y mares, en las zonas anóxicas del suelo, en fuentes de aguas termales sulfurosas y en el tracto digestivo de los rumiantes (Díaz-Báez, 2002).

El proceso de tratamiento produce biogás (principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )) que se puede convertir en energía eléctrica y térmica. La descomposición anaeróbica de la materia orgánica es un proceso que consta de tres etapas. (Díaz-Báez, 2002).

Al finalizar el proceso de digestión queda un lodo líquido Toda la materia orgánica que no se haya descompuesto completamente se separará en sólidos y líquidos. El líquido puede someterse a tratamiento aeróbico o recircularse a través del proceso digestivo. Los sólidos pueden usarse como fertilizante o se

les puede dar otra disposición dependiendo de las condiciones de estos. (Rojas, 1999).

### **1.3.2. Sistema aeróbicos**

Un sistema de tratamiento aeróbico se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos, los cuales se puede definir como la vía energética que implica la utilización de oxígeno, el cual se nutre de las reservas de hidratos de carbono, grasas y proteínas para la degradación de la materia. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente, la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado. (Rojas, 1999)

Se puede que el proceso de la digestión aeróbica representa un tratamiento biológico de las aguas residuales. Tras la remoción de sedimentos y sustancias del agua residual, como por ejemplo el aceite, durante la etapa primaria del tratamiento, los tratamientos aeróbicos se utilizan para descomponer la materia orgánica mediante la utilización de oxígeno. (Rojas, 1999)

Es importante resaltar que los procesos biológicos aeróbicos utilizan colonias microbianas y oxígeno molecular para descomponer las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Los microbios se alimentan de sustancias biológicas indeseadas en el agua generando agregados o “flóculos”

de sustancias orgánicas y microorganismos que se depositan en la base del contenedor. Este lodo es estable y puede eliminarse fácilmente, o dar el tratamiento correspondiente. (Rojas, 1999)

El tratamiento aeróbico forma parte de un proceso de tratamiento del agua que consta de múltiples etapas. Esta tecnología no se limita únicamente a su uso en la etapa intermedia del proceso; también se la puede utilizar para lograr agua con calidad final y lograr la reutilización de estas con otro tratamiento acorde al uso que se le pretenda dar. (Rojas, 1999)

#### **1.4. Cuerpos de relleno**

Los cuerpos de relleno o soportes proveen superficies de asentamiento a los microorganismos, de manera que su estancia en los depósitos de depuración aumenta en comparación con las aguas residuales que no están en movimiento y de esta forma, crece la capacidad de limpieza de las instalaciones. (Rivas, 2012)

Los cuerpos de relleno más usados son los Bioflow, su diseño permite una buena adherencia de las bacterias logrando colonias más resistentes, estos cuentan con una superficie grande y protegida contra la fricción y al mismo tiempo no ofrecen resistencia para que el agua fluya a través de ellos. Además, su forma garantiza una gran durabilidad, incluso en condiciones medioambientales poco favorables. (Rivas, 2012)

## **1.5. Caracterización de aguas residuales**

Las aguas residuales resultantes de un proceso productivo, de un servicio o recogidas en comunidades o municipios deben ser conducidas a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno. Se hace por tanto necesario conocer los contaminantes presentes en estas aguas, con el fin de aplicar un tratamiento adecuado que evite la degradación y contaminación de los cauces. Este análisis puede ser puntual o continuo, esto se hace con el fin de conocer la calidad de las aguas y de esta realizar el tratamiento adecuado para realzar la disposición final del agua acorde a los parámetros establecidos por legislaciones o regulaciones de cada área geográfica. (Mitchel, 1989)

Al hacer una caracterización de agua, los parámetros principales que es necesario conocer, a efectos de la contaminación del recurso son los siguientes:

- pH
- Temperatura
- Color
- Demanda Bioquímica de oxígeno
- Demanda Química de oxígeno
- Sólidos en suspensión y sólidos sedimentables
- Aceites y grasas
- Concentración de tóxicos metálicos
- Nitrógeno
- Fósforo
- Amoniaco
- Cloruros

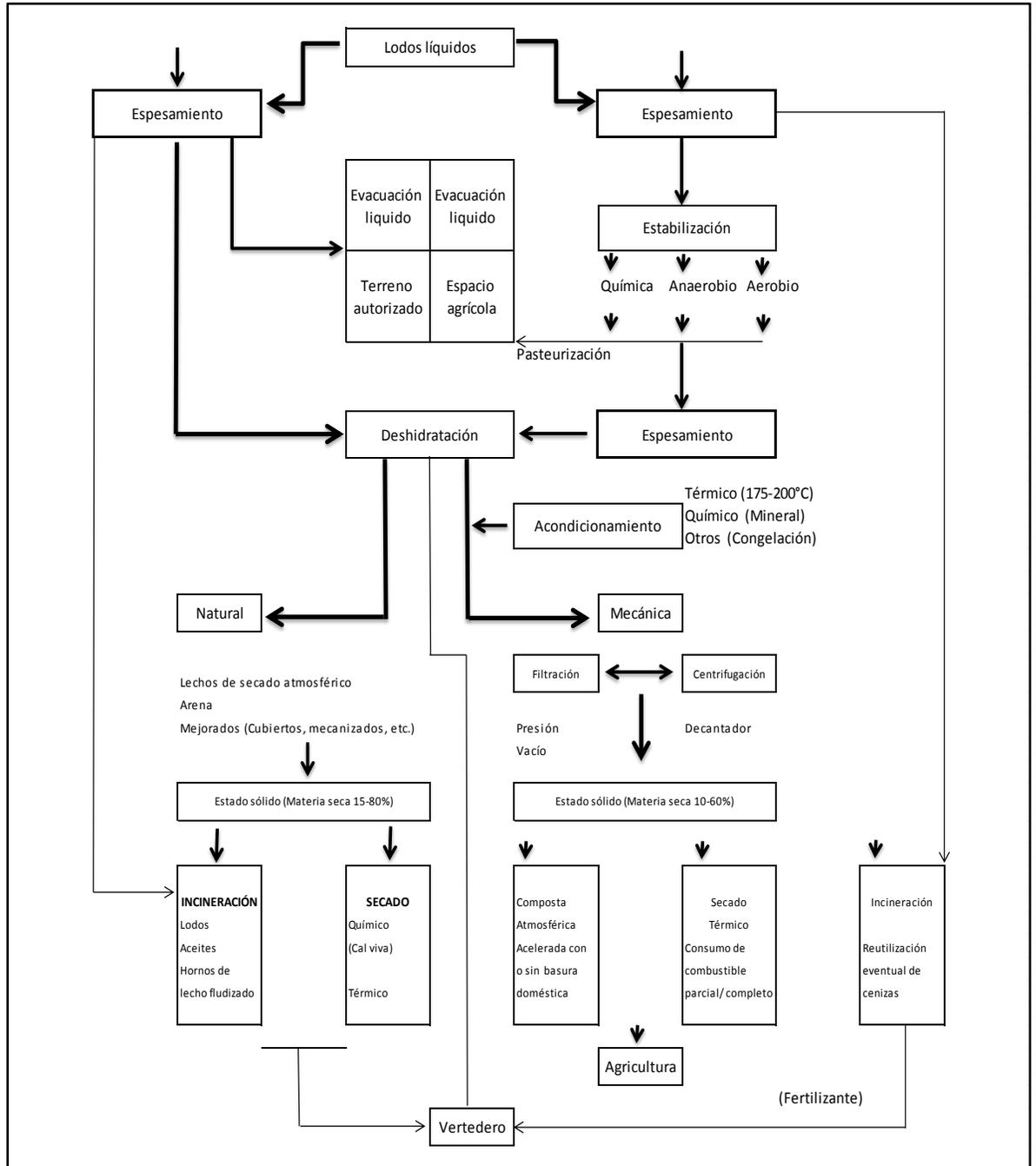
Es importante conocer los contaminantes que pueden afectar las aguas residuales, esto para determinar su composición y poder definir los factores que afectaron el proceso, además de aplicar el tratamiento adecuado para poder destinar las aguas a un cuerpo receptor. (Mitchel, 1989)

### **1.6. Tratamiento de lodos**

El tratamiento de lodos activados es un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales ampliamente utilizado para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas e industriales, particularmente en corrientes de desechos con alto contenido de materia orgánica o biodegradable. El tratamiento con lodos activados se usa frecuentemente para tratar aguas residuales de origen municipal e industrial, específicamente en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de la pulpa y el papel, y también de la alimentación. (Dégremont, 1980)

El proceso de tratamiento mediante lodos activados fue desarrollado en Gran Bretaña en el siglo XX. Es un proceso completamente documentado que utiliza microorganismos para tratar las aguas residuales. Lodo activado es un término usado para describir los depósitos ricos en microbios que se establecen en los tanques y en las cuencas y que gradualmente se agregan a las aguas residuales que ingresan a una planta de tratamiento de lodos activado, la mezcla resultante es aireada de forma tal que los microorganismos puedan descomponer los materiales orgánicos presentes en el agua, dióxido de carbono y otros componentes. Luego de la descomposición, los residuos remanentes pueden ser fácilmente sedimentados en el agua. (Dégremont, 1980)

Figura 1. Líneas más comunes en el tratamiento de lodos



Fuente: Dégremont, 1980.

El agua a ser tratada pasa inicialmente por una etapa de tamizado y/o sedimentación primaria. Las sustancias suspendidas, tales como los aceites, pueden ser eliminados durante esta etapa. La aireación es una de las primeras etapas en el proceso actual. Los aireadores no sólo mezclan los lodos y el efluente en forma conjunta, permitiendo a los microorganismos a que entren en contacto con el agua a ser tratada, sino que además brindan el tan necesario oxígeno, que es un elemento crítico para el éxito del tratamiento. Las bacterias utilizan el oxígeno para descomponer los materiales orgánicos y suspendidos, lo cual hace un tratamiento más eficiente. (Dégremont, 1980)

La normativa nacional se tiene: “Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 24: Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público.” Las municipalidades o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público y las urbanizaciones existentes no conectadas al alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores de cualquiera de las siguientes formas, presentadas en la figura siguiente.

Tabla I. Límites máximos permisibles de descargas en cuerpos receptores

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Niquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Fuente: MARN. www.marn.gob.gt. Consulta: julio de 2016.



## 2. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Para la obtención de la información necesaria y relevante de las aguas residuales de servicios y el proceso productivo de la fábrica, es importante definir los parámetros a evaluar, posterior a esto la caracterización de las aguas, el mapeo de aguas y sustancias que afectan el proceso. Lo cual se detalla a continuación.

### 2.1. Definición de parámetros

Para definir los parámetros adecuados a medir es necesario saber que el agua, debido a sus características es capaz de disolver sales minerales, acarrear grasas o agentes contaminantes como desechos sólidos, químicos y biológicos. Para esto es importante definir los parámetros que nos permitirán identificar las características y determinar la calidad del agua, para luego conforme a lo obtenido establecer las medidas adecuadas para neutralizar y mejorar las condiciones de las aguas analizadas.

Al hacer un estudio técnico de aguas residuales o una caracterización, los parámetros necesarios para conocer su composición son los siguientes:

- Caudal
- pH
- Temperatura
- Color
- Demanda Bioquímica de oxígeno
- Demanda Química de oxígeno
- Sólidos en suspensión

- Sólidos sedimentables
- Aceites y grasas
- Nitrógeno
- Fósforo
- Coliformes fecales
- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro
- Cobre
- Mercurio
- Níquel
- Plomo

## **2.2. Mapeo de puntos de captación**

La planta de producción cuenta con tres puntos de descargas de aguas residuales: servicios sanitarios de empleados, servicios sanitarios de la garita de seguridad y caja de captación de las operaciones de la planta. Los primeros dos efluente de aguas residuales son del tipo ordinario; En el caso de la salida de las aguas de los proceso productivos, se vierten aguas residuales de tipo especial.

Las aguas negras provienen de los servicios sanitarios para 102 empleados, aguas grises de la cocina, lavamanos y regaderas, todas son tratadas en fosa séptica y luego son conducidas hacia un pozo de absorción.

El drenaje de agua residual de la cafetería está conectado a una trampa de grasa donde se recolectan las natas flotantes, espumas, grasas y aceites, reciben un tratamiento de digestión de grasas y luego es conducida por el

drenaje proveniente de los servicios sanitarios y regaderas hacia una fosa séptica y finalmente a un pozo de absorción.

Existen dos fosas sépticas para el tratamiento de aguas residuales ordinarias. La fosa para servicio de comedor y servicios sanitarios con sus respectivas duchas, es una fosa prefabricada de polietileno de 2.5 m<sup>3</sup> de capacidad que conecta a un pozo de absorción de aproximadamente 40 m de profundidad.

**Figura 2. Fosa séptica para aguas residuales de cafetería**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

La segunda fosa séptica está ubicada inmediatamente después de la garita de seguridad. Es una fosa fabricada de concreto con capacidad estimada de 9 m<sup>3</sup> que se conecta directamente hacia un pozo de absorción de aproximadamente 40 m de profundidad.

Figura 3. **Fosa séptica para aguas residuales de garita**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Los datos de capacidad de la segunda fosa séptica y de la profundidad de ambos pozos de absorción son aproximados, ya que no existen registros, ni planos de construcción que detallen las dimensiones exactas. Las aproximaciones están basadas en entrevistas a personal de la empresa y cálculos de los consultores.

Las aguas residuales especiales provienen de varias actividades de producción, se estima que un 60% corresponde a la línea de chile jalapeño, un 26% a la línea de frijol y un 14% del enfriamiento de la pasteurización de la línea de chile, además existe un mínimo aporte de agua residual por las purgas de los sistemas de vapor, enfriamiento y regeneración de resina catiónica.

En las siguientes imágenes, se observan los equipos de enfriamiento y vapor, respectivamente, las torres de enfriamiento se purgan cada 2 días y la caldera se purga semanalmente.

**Figura 4. Torres de enfriamiento**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

**Figura 5. Cuarto de calderas**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

El agua de abastecimiento es tratada con cloro para las líneas de producción y el agua para calderas es tratada previamente por resinas catiónicas para reducir su contenido de carbonatos. Cada 15 días se utiliza una solución salina empleada en la regeneración de resinas, que genera un volumen de agua residual aproximado de 1 m<sup>3</sup>.

El agua se utiliza para el lavado de chiles jalapeños y frijoles en tambores rotatorios. En la línea de chile se utiliza un mayor porcentaje de agua debido a que ésta se incorpora al producto con una en solución de ácido acético. En la siguiente imagen se observa la lavadora rotatoria.

Figura 6. **Lavadora rotatoria, línea de chile**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

En un equipo denominado Exauster se prepara la salmuera para el chile en escabeche con especias y vinagre (ácido acético) que luego de integrada al producto.

**Figura 7. Equipo para preparar salmuera**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

El residuo de la salmuera se recupera y neutraliza previo a que se vierta hacia los drenajes de la fábrica; se recuperan aproximadamente 250 kg de salmuera al día.

Adicionalmente, el agua utilizada en las tareas de limpieza y sanitización es recolectada en los canales de cada línea de producción y luego es conducida al drenaje general hacia una unidad de tratamiento y finalmente al alcantarillado municipal. En la siguiente fotografía se presenta un drenaje de la planta de producción

Figura 8. **Drenajes de fábrica**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

El sistema de rejillas de drenajes atrapa cualquier residuo sólido y previene que se viertan residuos sólidos hacia el drenaje.

Las aguas residuales especiales son recolectadas por el sistema de drenajes, luego pasan por un pozo de visita y posteriormente se dirigen a la unidad de tratamiento por medio de tubería de concreto de 10". La unidad de tratamiento tiene capacidad de tratar por descomposición biológica anaeróbica 30 m<sup>3</sup>/día. Después del tratamiento primario el agua tratada se conduce hacia el alcantarillado municipal.

Las aguas residuales ordinarias son tratadas independientemente en sistemas de fosa séptica-pozo de absorción. La planta de producción cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales especiales.

El sistema de tratamiento primario para aguas especiales consiste en una estructura de concreto de 4m de ancho, 2.7m de profundidad y 8m de largo,

dividida en cuatro secciones por medio de cortinas, es un tratamiento principalmente de sedimentación y que puede brindar una función de digestión biológico anaeróbica; el agua tratada descarga hacia una fosa séptica y posteriormente a un pozo de absorción. El tanque tiene un volumen de 21.6 m<sup>3</sup> con una capacidad instalada de tratar 30 m<sup>3</sup>/día, ya que su periodo de retención es aproximadamente de 48 horas.

Los lodos sedimentados en las fosas sépticas son extraídos 2 veces por año y transportados por una empresa subcontratada. Esta empresa es la responsable de trasladar y otra empresa es la encargada de la disposición final de los lodos sanitariamente, por lo cual la fábrica queda exenta de esta responsabilidad tal como lo cita el Artículo 47 del Reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos.

**Figura 9. Unidad de tratamiento de aguas especiales**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

### 2.3. Caracterización de aguas

Para realizar la caracterización de aguas residuales Se instalaron equipos automáticos para muestreo y medición de caudal. Se captaron 27 muestras simples para conformar la muestra compuesta a lo largo de 24 horas durante una semana completa.

Se determinó *in si tu* el pH, la temperatura y el caudal. En laboratorio se analizó cada muestra compuesta por la metodología indicada. Los parámetros analizados se listan en la figura. En la fotografía siguiente se observa el punto de muestreo, donde se instalaron los equipos automáticos.

Figura 10. **Pozo de visita del punto de muestreo de aguas residuales especiales**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

A continuación se muestra los puntos donde se instalaron los equipos para toma de muestra compuesta y medición de caudal.

**Figura 11. Pozo de absorción al final de proceso de tratamiento de aguas especiales**



Fuente: Fotografía tomada por el autor.

A continuación se listan los resultados obtenidos en la caracterización en el monitoreo realizado en el mes de noviembre del años 2016, el cual se realizó durante una semana completa.

**Tabla II. Resultados del análisis del efluente de la planta**

Parámetros	Dimensional	14/11/2016	15/11/2016	16/11/2016	16/11/2016	17/11/2016	18/11/2016	19/11/2016
Caudal promedio	L/s	1.05	1.2	1.02	0.83	1.17	0.97	1.04
Carga de DBO	Kg/día	16.33	39.9	80.88	55.2	72.2	27.1	1.5
Arsénico	mg/L-As	0.0044	<0.0030	<0.0030	0.006	0.0035	0.0036	<0.0030
Cianuro	mg/L-CN-	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Color	U Pt-Co	404	199	155	135	214	234	137
Cromo (VI)	mg/L-Cr	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
DBO	mg/L-O <sub>2</sub>	760	860	710	790	940	580	640
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	1054	1,381	1,596	1,432	1,264	1,183	1065
DQO/DBO	---	2	2.1	1.8	2.1	1.9	2	1.9
Fósforo Total	mg/L-P	10.34	7.3	6.68	6.64	5.72	9.4	7.7
Grasas y Aceites	mg/L	95	77	83	87	98	89	91
Materia Flotante	---	Ausente						
Nitrógeno Total	mg/L-N	93	92	78	85	87	96	73
Potencial de Hidrógeno	---	5.75	6.01	5.49	5.47	5.07	5.33	5.97
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.5	0.5	1	1	0.5	0.5	0.5
Sólidos suspendidos	mg/L	438	552	471	576	396	426	407
Temperatura	°C	27.7	25.6	27.7	28.8	28.4	27.39	25.5
Coliformes fecales	NMP/100mL	9,700	5,925	5,400	2,200	9,200	2,400	2,980
Cadmio	mg/L-Cd	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Cobre	mg/L-Cu	0.058	0.062	0.081	0.076	0.063	0.051	0.049
Mercurio	mg/L-Hg	<0.00075	<0.00075	<0.00075	<0.00075	<0.00075	<0.00075	<0.00075
Níquel	mg/L-Ni	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Plomo	mg/L-Pb	<0.060	<0.060	<0.060	<0.060	<0.060	<0.060	<0.060
Zinc	mg/L-Zn	0.799	0.605	1.06	1.49	0.874	0.693	0.682

Fuente: elaboración propia.

A continuación se hace la comparación de los datos obtenidos en la caracterización realizada con los obtenidos dos años anteriores, con el fin de revisar la variabilidad y tener más certeza a la hora de realizar la propuesta de diseño.

Tabla III. Resultados del análisis del efluente de la Planta

Parámetros	Dimensional	Noviembre 2016	Noviembre 2015	Octubre 2014
Caudal promedio	L/s	1.04	0.90	0.78
Carga de DBO	Kg/día	41.87	58.23	78.33
Arsénico	mg/L-As	0.004	0.006	0.005
Cianuro	mg/L-CN-	<0.01	<0.03	<0.03
Color	U Pt-Co	211.14	228.00	364.00
Cromo (VI)	mg/L-Cr	<0.05	<0.10	<0.10
DBO	mg/L-O <sub>2</sub>	754.29	805.00	1157.00
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	1282.14	1395.00	2082.00
DQO/DBO	---	1.97	2.10	1.78
Fósforo Total	mg/L-P	7.68	8.76	9.19
Grasas y Aceites	mg/L	88.57	88.97	91.20
Materia Flotante	---	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L-N	86.29	89.34	95.60
pH	---	5.58	6.10	5.27
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.64	0.79	0.20
Sólidos suspendidos	mg/L	466.57	501.22	509.99
Temperatura	°C	27.30	28.20	27.80
Coliformes fecales	NMP/100mL	5400.71	5736.00	6890.00

Fuente: elaboración propia.

Actualmente como se puede evidenciar en la tabla el valor es de 41.87 Kg/día. A continuación los parámetros y sus valores establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos” en su Artículo 28, para las distintas fases.

**Tabla IV. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público**

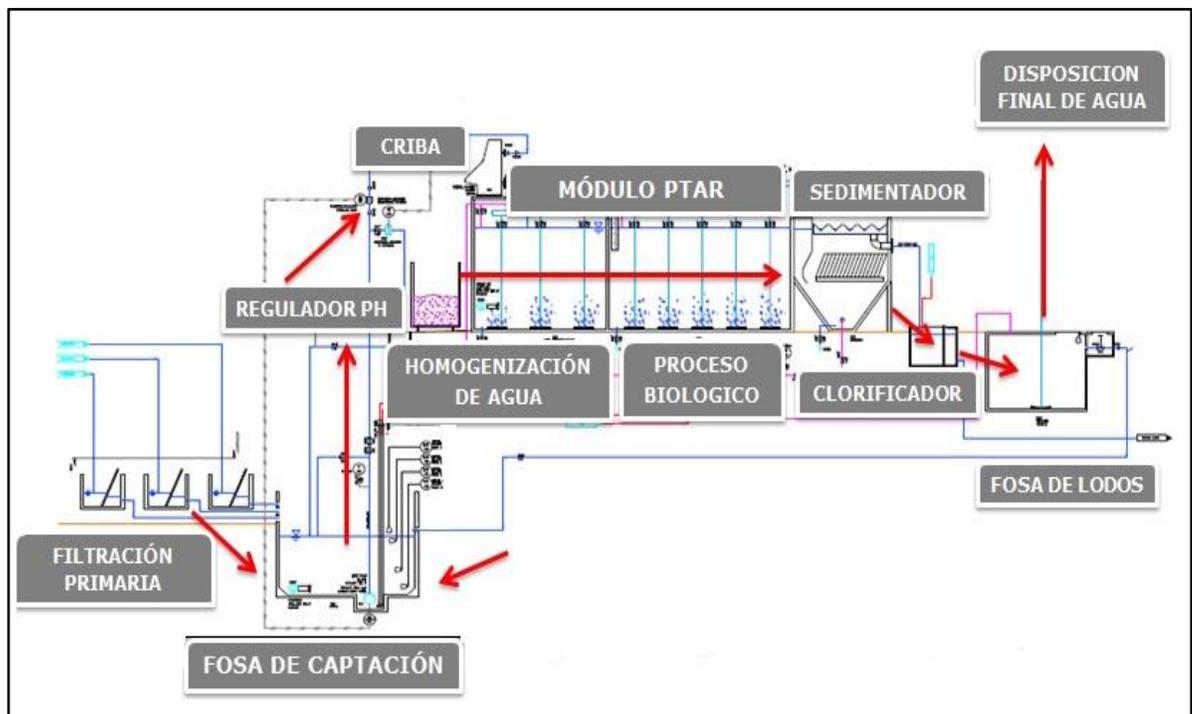
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	180	150	80	40
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	40	20	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### 3. PROPUESTA DE DISEÑO

La propuesta de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se detalla a continuación, partiendo de la definición del proceso de tratamiento a realizar.

Figura 12. **Proceso de tratamiento de aguas residuales propuesto**



Fuente: elaboración propia.

Para el dimensionamiento de los equipos de una planta de tratamiento de aguas residuales es importante tomar en cuenta la carga orgánica que se tiene en la fosa de almacenamiento, el caudal que se va a manejar, alturas, codos en tuberías.

Para determinar la bomba del inicio de proceso es importante dimensionarla basada en la presión de descarga, la presión de succión y caída de presión.

La fórmula siguiente da el caudal medio de consumo en litros por segundo (lps) y tomándose en cuenta el factor K, da el caudal máximo.

$$Q_d = \frac{(\text{Dotación}) * (K)}{86\,400} = \text{LPS}$$

Donde:

- QD = Caudal medio diario
- Dotación: es la cantidad de litros por día (lpd) correspondiente, según las mediciones realizadas
- K: es un factor que según proyecciones de variación en la demanda en redes, es recomendable estimarse de 8 a 10, según los siguientes datos.

Es importante tomar en cuenta los siguientes datos:

- Dotación menor a 50 000 lpd K = 10
- Dotación entre 50 001 y 100 000 lpd K = 9
- Dotación mayor a 100 001 lpd k = 8

## Determinación de las cargas

Para entrar en el cálculo de cargas de una red de distribución, primero se verán algunas teorías y ecuaciones fundamentales de la hidráulica.

### Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa. Para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, es constante. Ésta puede calcularse como sigue:

$$\rho_1 * A_1 * V_1 = \rho_2 * A_2 * V_1 = \text{constante}$$

$$\gamma_1 * A_1 * V_1 = \gamma_2 * A_2 * V_1 \quad (\text{en k/s})$$

Para fluidos incompresibles y para todos los casos prácticos en que  $\gamma_1 = \gamma_2$ , la ecuación se transforma en:

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2 = \text{CONSTANTE (EN M}^3\text{/S)}$$

Donde:

$A_1$  y  $V_1$  son, respectivamente, el área de la sección recta en metros cuadrados y la velocidad media de la corriente en metros por segundo. El caudal se mide normalmente en metros cúbicos por segundo o bien litros por segundo.

## Determinación del diámetro en la tubería

Para determinar los diámetros de los tramos de una red, se deben considerar las velocidades mínimas y máximas señaladas, es decir que los diámetros escogidos deben producir velocidades dentro de estos límites.

Tabla VI. **Velocidad media en tuberías para plantas de tratamiento de aguas residuales**

Tipo de tubería	Velocidad media m/s	
	Mínima	Máxima
Tuberías de succión en bombas centrífugas, de acuerdo con la carga de succión, longitud, temperatura del agua (<70°C)	0,5	1,0
Tuberías de descarga en bombas	1,5	2,0
<b>Redes de distribución para agua potable e industrial:</b>		
Tuberías principales	1,0	2,0
Tuberías laterales	0,5	0,7
Tuberías muy largas	1,5	3,0

Fuente: Ávila, Gilberto Sotelo. Hidráulica general p. 367.

A objeto de mitigar los efectos por golpe de ariete, y en general cuando sea inminente, se recomienda que las velocidades máximas no superen el rango de 1,2 metros por segundo a 2,5 metros por segundo. La velocidad

mínima podrá ser determinada en función a las condiciones de auto limpieza, calidad del agua, entre otros.

Con el caudal y el rango de velocidades determinados, es posible conocer el diámetro aproximado de la tubería a través de la ecuación de continuidad.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}}$$

Donde:

- D = Diámetro de la tubería en metros (m)
- Q = Caudal del fluido en metros por segundo (m<sup>3</sup>/día)
- V = Velocidad del fluido en metros por segundo (m/s)
- $\pi$  = pi = 3,14159265

Ecuación general de la energía en fluidos

Las ecuaciones que rigen toda la mecánica de fluidos, se obtienen por la aplicación de los principios de conservación de la mecánica y la termodinámica a un volumen fluido.

Teorema de Bernoulli

El principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli o Trinomio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente.

Expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- Cinética
- Potencial gravitacional
- Energía de flujo

$$H = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

- $H$  = Energía total en un punto
- $Z$  = Energía potencial
- $\frac{P}{\gamma}$  = Energía de presión
- $\gamma$  = Peso específico del agua = 1 000 kg/m
- $\frac{V^2}{2 \cdot g}$  = Energía cinética

$g$  = Aceleración de la gravedad = 10 m/s<sup>2</sup>

Debido a que existen pérdidas y/o incrementos de energía, estos se deben incluir en la ecuación de Bernoulli. Por lo tanto, el balance de energía para dos puntos de fluido puede escribirse, considerando las pérdidas por razonamiento del punto uno al punto dos ( $hf_{1-2}$ ) de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + hf_{1-2}$$

La primera consideración al seleccionar el tamaño de las bombas, es el hecho de que deben ser capaces por sí solas de abastecer la demanda máxima dentro de los rangos de presiones y caudales, existiendo siempre una bomba adicional para alternancia con la (s) otra (s) y para cubrir entre todas, por lo menos el 140 por ciento de la demanda máxima probable.

La potencia de la bomba para un sistema hidroneumático, representa la potencia requerida por la bomba para transferir líquidos de un punto a otro y la energía requerida para vencer sus pérdidas. Podrá calcularse por la fórmula siguiente

$$HP = (Q \times CDT) / (75 \times n)$$

Donde:

- HP = Potencia de la bomba.
- Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s
- HT = C.D.T. (Carga dinámica total) m
- n = Eficiencia de la bomba
  - n bombas chicas." a 2" de succión = 30 – 50%.
  - n bombas medianas 2" a 6" de succión = 50 – 75%.

- n bombas grandes 6" o mayores = 75 – 80%.

Las bombas deben seleccionarse para trabajar contra una carga por lo menos igual a la presión máxima en el tanque hidroneumático.

La carga dinámica puede obtenerse por la fórmula de Williams Hazen, la cual es recomendada para agua.

$$CDT = 1.21 \times 10^{10} \times L \times (Q / C)^{1.853} \times d^{-4.87}$$

Donde:

- L = Longitud de la tubería (m)
- Q = Caudal del fluido en metros por segundo (m<sup>3</sup>/día)
- d = Diámetro interior (m)
- C = Factor de fricción de Hazen Williams
  - 90 para tubos de acero soldado.
  - 100 para tubos de hierro fundido.
  - 150 para tubos de PVC.
  - 150 para tubos de PRFV.
  - 128 para tubos de fibrocemento.
  - 150 para tubos de polietileno de alta densidad.

Los datos obtenidos de caudales y volumen de lodos de acuerdo con la medición volumétrica y las estimaciones con base al tipo de tratamiento

proporcionado a las aguas residuales, se estima que el volumen de agua residual especial producida en la fábrica es de 2.2 L/s y de 80 Kg/día de lodos.

La carga contaminante se obtiene de la siguiente relación:

$$C_{DBO5} = \frac{Q * DBO_5}{1000}$$

Donde:

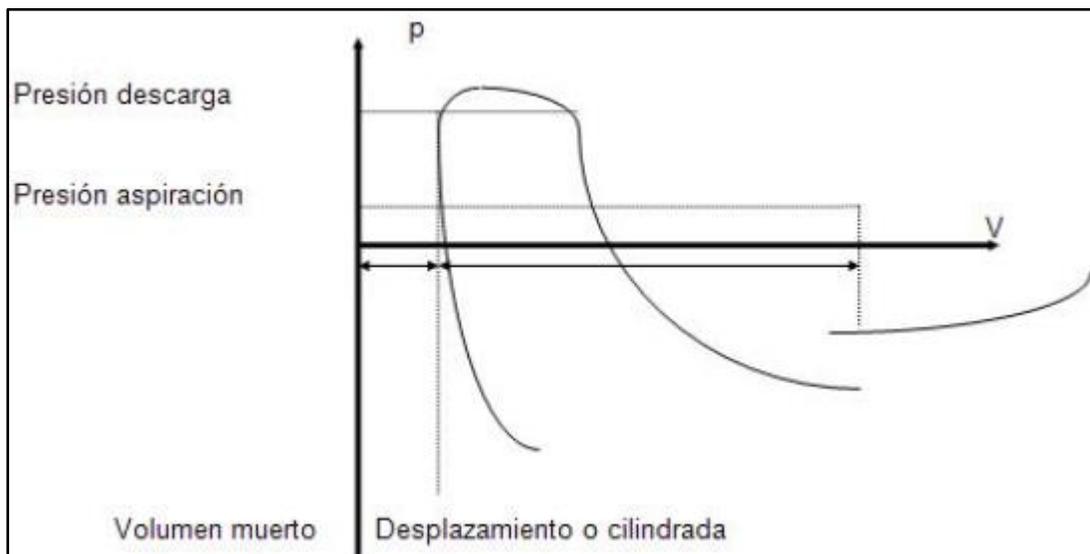
- CDBO5: Carga contaminante en Kg/día
- Q: Caudal en m<sup>3</sup> /día
- DBO5: Demanda Bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20 °C en mg/L

Para los compresores y todo el sistema de aire comprimido con su respectivo diseño, tanto de compresor como mezcladores y difusores hay que tomar en cuenta los siguientes aspectos.

- Presión de descarga nominal
- Temperatura de descarga nominal
- Oleaje
- Punto nominal de operación
- Velocidad de flujo
- Tipo de accionador

- Requerimiento de potencia
- Tipo de compresor
- Requerimiento de cabezal

Figura 13. Diagrama del trabajo real de un compresor



Fuente. Charles R. Diseño en Ingeniería Mecánica. 5 Ed. México: McGraw-Hill, 1990. p. 869

Para calcular el caudal teórico que es el número de revoluciones por segundo, se utiliza la siguiente fórmula

$$\dot{m}_{teorico} = V * n = \frac{\pi * D^2}{4} * C * \frac{n}{60} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

El compresor a utilizar se puede referir a los existentes en mercado, según sus caudales y la potencia específica (C.V./m<sup>3</sup>/min). como se muestra en la siguiente tabla

**Tabla VI. Especificación de caudales y potencias de los tipos de compresores**

TIPO COMPRESOR	CAUDALES	POTENCIA ESPECÍFICA
De simple efecto y una etapa, refrigerados por aire	Hasta 1 m <sup>3</sup> /min.	< 10 CV/m <sup>3</sup> /min.
De simple efecto y dos etapas, refrigerados por aire	Desde 2 hasta 10 m <sup>3</sup> /min.	7,6 < W < 8,5 CV/m <sup>3</sup> /min.
De doble efecto y dos etapas, refrigerados por agua	Desde 10 hasta 100 m <sup>3</sup> /min.	6,6 < W < 7 CV/m <sup>3</sup> /min.
De simple efecto y dos etapas, refrigerados por aire(sin engrase)	Desde 2 hasta 10 m <sup>3</sup> /min.	8,2 < W < 9 CV/m <sup>3</sup> /min.

Fuente. Charles R. Diseño en Ingeniería Mecánica. 5 Ed. México: McGraw-Hill, 1990. p. 869.

A raíz de los cálculos anteriormente descritos, se describe las características de los equipos e instalaciones.

## 2.4. Tubería

- **Tuberías para el transporte del agua**

Las tuberías para el transporte del agua, realizadas en acero inoxidable AISI 304 en las partes visibles y PVC en las partes enterradas, tendrán un diámetro idóneo para que el agua no sedimente en la tubería y la pérdida de carga total no sea muy elevada.

- **Tuberías para el transporte del aire**

Toda la tubería para el transporte del aire hasta la fase de oxidación, será realizada en acero inoxidable AISI 304. La que está emergida en la misma, de acero galvanizado. Todos los tubos necesarios tendrán su diámetro de 1" propuesto, para garantizar una velocidad de aire de  $7\div 18$  m/s.

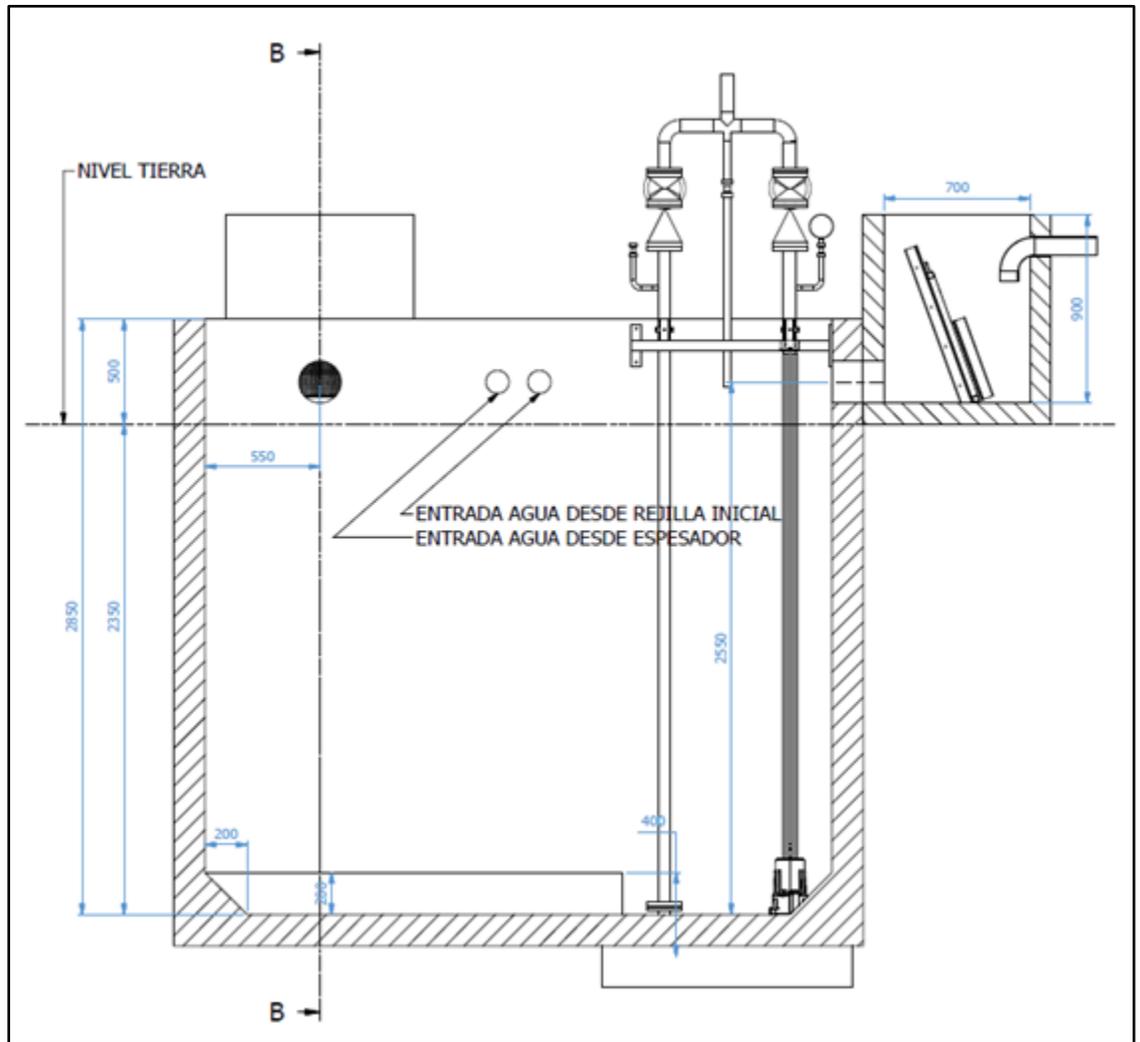
- **Tuberías para el transporte de productos químicos**

Estas tuberías tendrán un diámetro de 1" en cada uno de los productos a dosificar y el material designado es PVC PN 10.

## **2.5. Fosa de captación de aguas residuales**

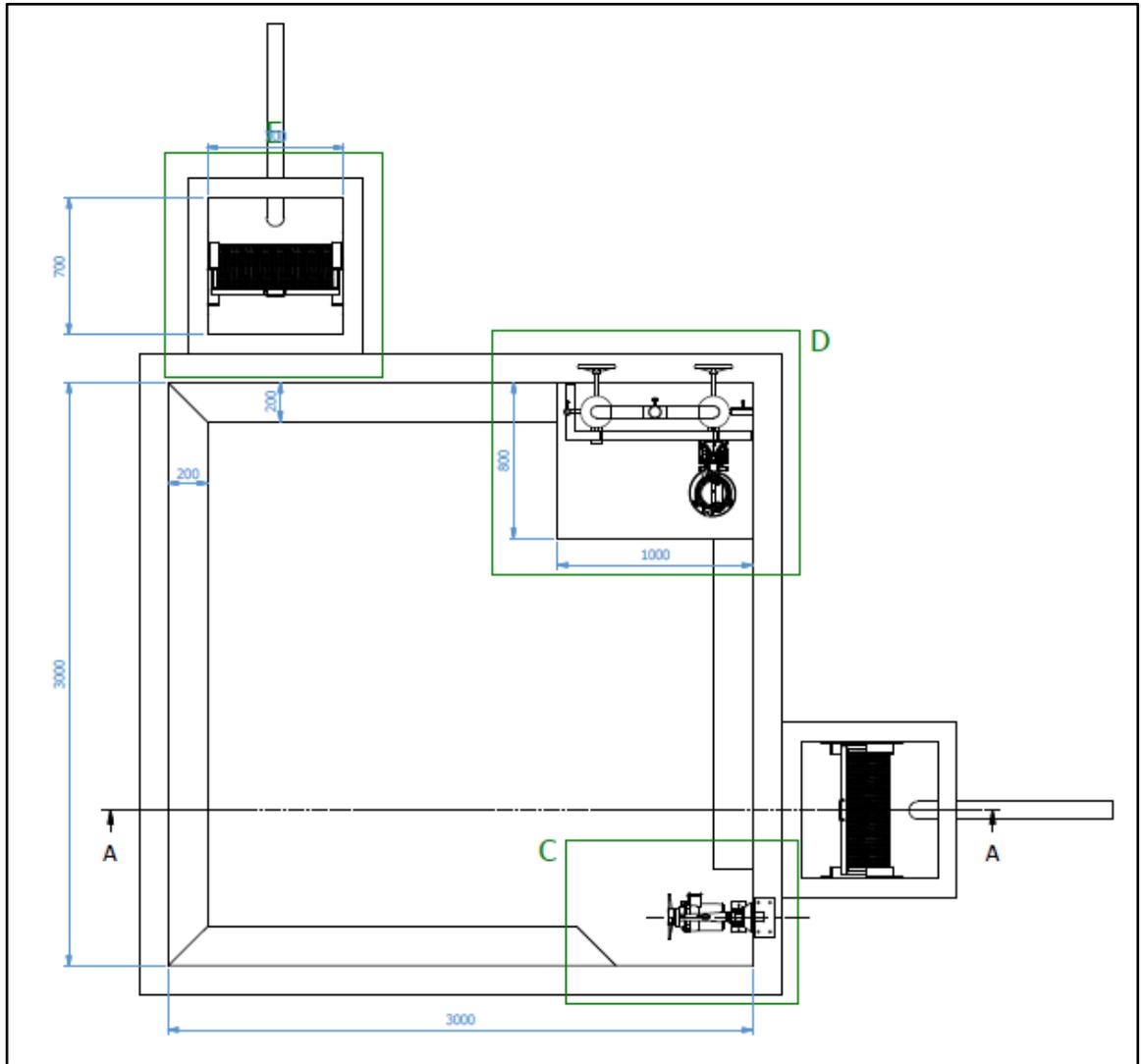
Para este diseño acorde al caudal monitoreado se proponen dos fosas interconectadas hechas de mampostería, con los siguientes detalles y medidas, las cuales deben conectarse al módulo inoxidable propuesto

Figura 14. Fosa de captación vista lateral



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Fosa de captación vista de planta

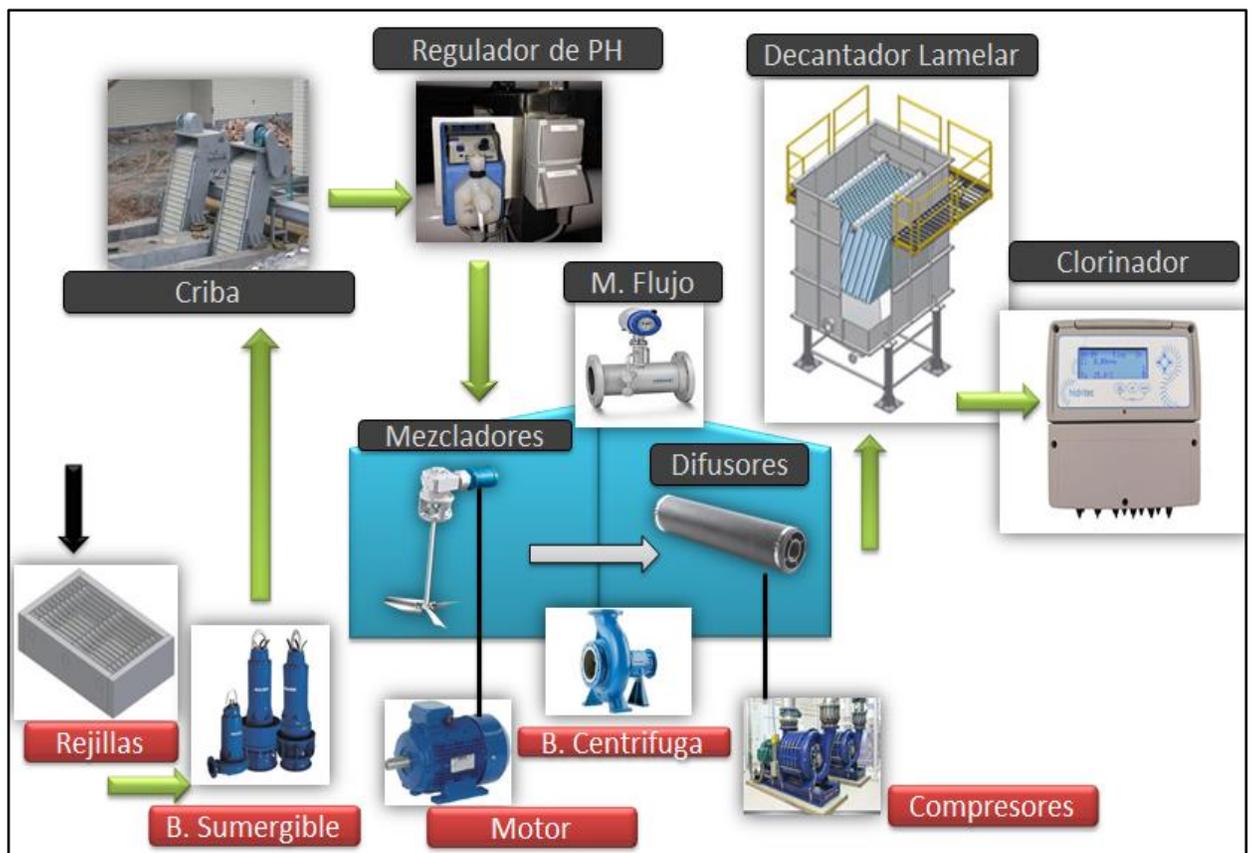


Fuente: elaboración propia.

## 2.6. Equipos propuestos y descripción técnica

Para lograr el proceso de tratamiento de aguas residuales en la planta propuesta, es necesario contar con los equipos que se muestran en la siguiente imagen, los cuales se detallan posteriormente.

Figura 16. Equipos planta de tratamiento de aguas residuales propuesta



Fuente: elaboración propia.

### **2.6.1. Rejillas para tratamiento primario**

Para este diseño se propone empezar el tratamiento con una primera filtración mecánica para las partes más gruesa que puedan ser presentes, de manera que las bombas de levantamiento sucesivas no tengan problemas en su funcionamiento.

Su diseño es una rejilla totalmente inoxidable de instalarse en el canal de entrada inicial, dotada de un rastrillo particular para una cómoda limpieza. El tamiz viene completo de accesorio para la limpieza manual, como se muestra en la siguiente figura:

**Fotografía 17. Diseño de rejillas de tratamiento primario**



Fuente: [www.sereco.com](http://www.sereco.com). Año 2016.

Las rejillas deben ser de acero inoxidable AISI 304, para soportar un caudal máximo de 10m<sup>3</sup>/h y deben tener un grado de filtración de 50mm.

### 2.6.2. Bomba de levantamiento inicial

Para el inicio del proceso se requiere de un levantamiento inicial, para esto es necesario tener una bomba sumergible, la cual se detalla a continuación La bomba de levantamiento debe tener la capacidad de 6 m<sup>3</sup> /h. Es importante adquirir dos para tener una de back up. Se propone la marca FLYGT DP 3068.

Fotografía 18. **Bomba sumergible de levantamiento**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

### 2.6.3. Criba

El tratamiento del agua inicia con una filtración mecánica, se propone la instalación de una rejilla de trabajo y de limpieza manual. Esta rejilla puede ser puesta arriba de la fosa de acumulación y viene alimentada por la bomba

sumergible de levantamiento. El tamiz debe ser de acero inoxidable AISE 304, con grado de filtración de 2mm.

Figura 20. **Criba**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

#### **2.6.4. Módulo de tratamiento**

El módulo de tratamiento de la planta se presenta como un contenedor de 40 pies, realizado totalmente en acero inoxidable AISI 304. Las tuberías también son de AISI 304. En el caso específico el módulo de tratamiento se realiza en dos unidades que suman un largo 12m, teniendo la capacidad de tratar 90m<sup>3</sup>/día.

En la parte inicial de este módulo se hace la homogenización del agua, lo cual permite que en la parte posterior donde se hace el proceso biológico se lleve a cabo de mejor manera. En esta parte se desarrollan todas las reacciones bioquímicas que llevan a la disolución de las sustancias contaminantes presentes. Estas reacciones son en todos análogas a aquellas que suceden en los ríos naturales para el intercambio de oxígeno entre la superficie líquida y la atmósfera en contacto.

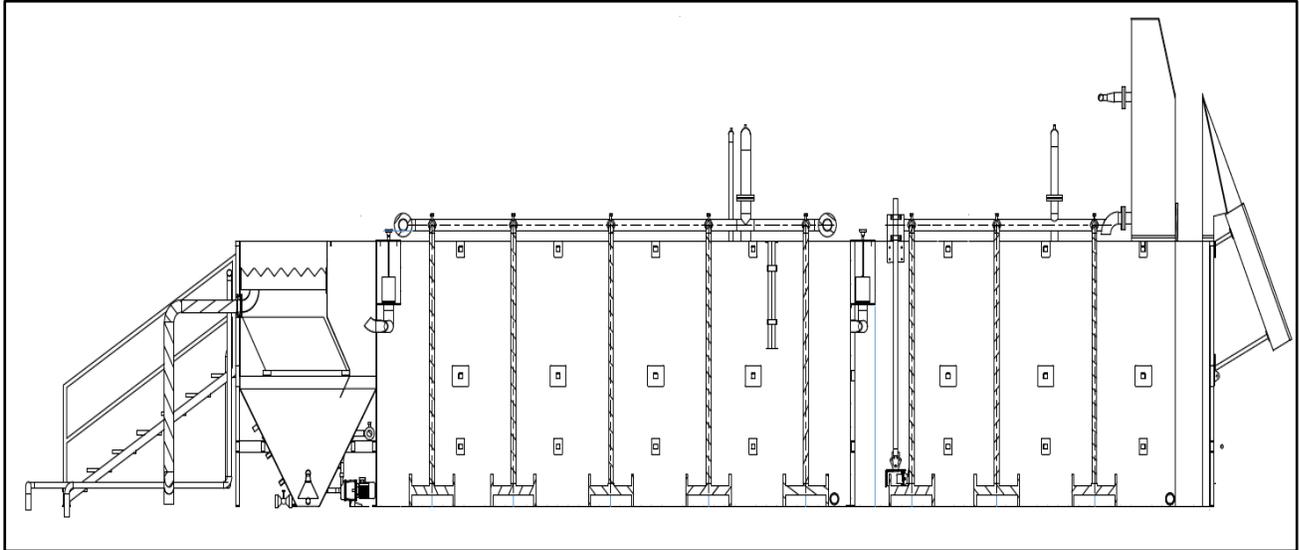
Cosa que en nuestro proceso sucede en un reducido espacio y tiempo. Debido a las elevadas cantidades de sustancias orgánicas presentes, el intercambio natural no puede satisfacer la necesidad de oxígeno requerida para los microorganismos. A fin de garantizar una adecuada depuración se debe abastecer oxígeno desde el exterior por medios de aparatos especiales.

En este diseño el oxígeno viene abastecido con sopladores y difusores sumergidos que generan micro burbujas, estos difusores van instalados de manera particular, para permitir el mantenimiento sin sacar toda el agua de la cisterna de oxidación.

Este dispositivo, aparte de garantizar un rendimiento eficaz en la fase de depuración, disminuye la contaminación ambiental total del equipo, sea para la eliminación de los aerosoles y sea para reducir el ruido.

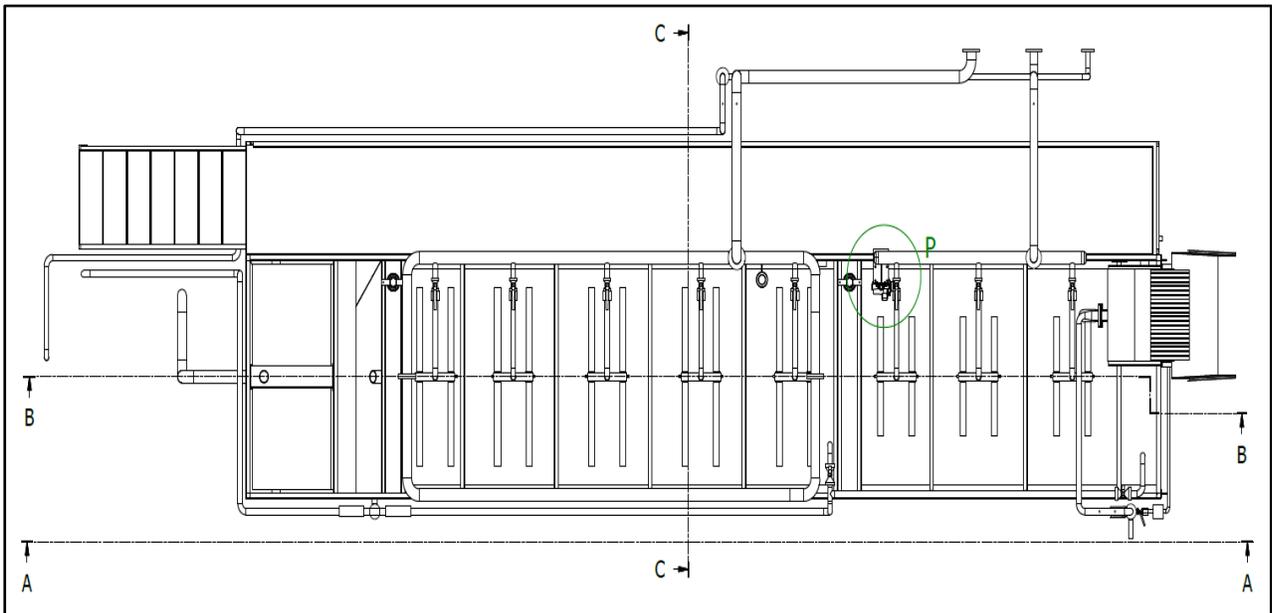
La capacidad que debe tener este módulo es de 60m<sup>3</sup>, logran de esta forma un tiempo de retención de 20 horas, de forma rectangular con medidas de 2.3 x 12 x (h) 2.5 m. La propuesta de diseño es la siguiente:

Figura 20. **Módulo de tratamiento vista lateral**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Módulo de tratamiento vista de planta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Módulo de tratamiento**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

### 2.6.5. Regulador de PH

La regulación del pH es muy importante en un proceso de tratamiento de aguas residuales, el cual se neutraliza con hidróxido de sodio (NaOH) y ácido clorhídrico (HCl). El sistema debe contar con un medidor de pH continuo y una bomba para la dosificación de los productos.

Figura 23: **Regulador de PH**

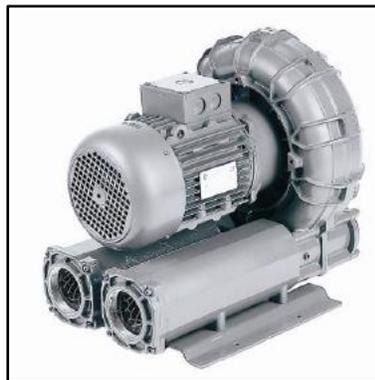


Fuente: Empresa FICIT Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

### 2.6.6. Mezcladores

Para el proceso de homogenización es necesario contar con bombas sumergidas completas de sistema de acople hidráulico en el fondo, y equipo de subida por mantenimiento. Además de un sistema de aire soplado completo de inversor para regular las revoluciones del motor, así mismo la entrada del aire.

Figura 24. **Motor de mezcladores**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

Figura 25. **Mezclador**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

### 2.6.7. Medidor de flujo

Es necesario un medidor flujo, que de forma automática pueda controlar el movimiento de aguas en el módulo de tratamiento, para esto debe cumplir con un medidor de flujo electromagnético conectado con el inversor de la bomba.

Figura 26. **Medidor de flujo electromagnético**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

Se propone que el sistema de forma automática sea controlado por un controlador instalado en el motor de la bomba, de esta manera se controla el flujo a recircular.

Figura 27. **Bomba controlador del flujo**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

### 2.6.8. Difusores y compresores

El sistema de instalación de los difusores debe ser de acero inoxidable AISI 304, esta tubería baja al módulo de tratamiento desde el borde de arriba conectada a un colector de anillo diseñado para la correcta distribución del aire soplado sin vías preferenciales. Cada conexión tiene una válvula de interceptación y regulación, la tubería baja a otro colector de grupo que alimenta los varios difusores instalado en el mismo. Se colocan en grupos de 6 difusores, por la cantidad de oxígeno que se quiere transferir y del peso y dimensiones del grupo que permita su levantamiento cómodo al manteniendo desde arriba sin vacías el agua.

Cada bajada debe tener un soporte para ser instalado en la pared y que permita mantener la correcta posición de la tubería cuando se vuelve a poner en el agua.

Figura 28. Difusores



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

Figura 29. **Compresores**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

### **2.6.9. Decantador lamelar**

El sedimentador es un equipo fundamental en el proceso de tratamiento de aguas residuales, ya que el agua que procede de la oxidación, a través de los reguladores de nivel de rebosamiento se envía en el sedimentador donde, debido a la baja velocidad de subida, se realiza la separación del grano de lodo biológico.

El excedente así depurado puede ser descargado al espesamiento y luego a la deshidratación. La particular construcción garantiza las condiciones ideales para la sedimentación del lodo, visto también la presencia de elementos de lámelas inclinadas paralelas.

También este sedimentador será realizado de acero al carbón con el fondo inclinado para la sedimentación de lodo, paredes de calma en la entrada del flujo y una canaleta para la salida finalmente del agua tratada que se puede descargar al río o al drenaje.

Figura 30. **Decantador Lamelar**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

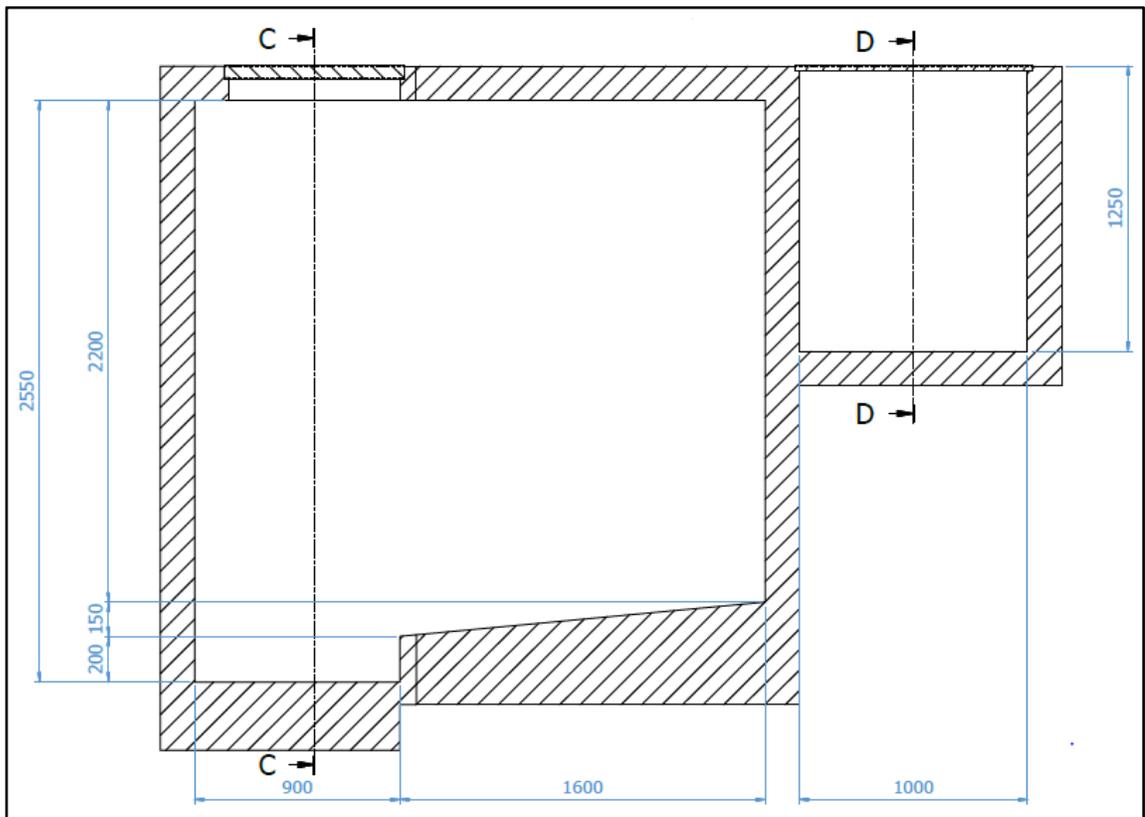
#### **2.6.10. Fosa de captación de lodos y bomba de recirculación**

El lodo que recoge, entra por gravedad en una pequeña fosa, a la cual debe colocarse una bomba de levantamiento para recircular el lodo en los puntos de la oxidación determinados por el proyecto.

Esta fase de recirculación es muy importante, porque permite mantener al interior de la fosa de oxidación una elevada concentración de sustancias activas, las cuales son las principales responsables de la degradación de las sustancia contaminantes presentes, aumentando, así la eficiencia del tratamiento mismo.

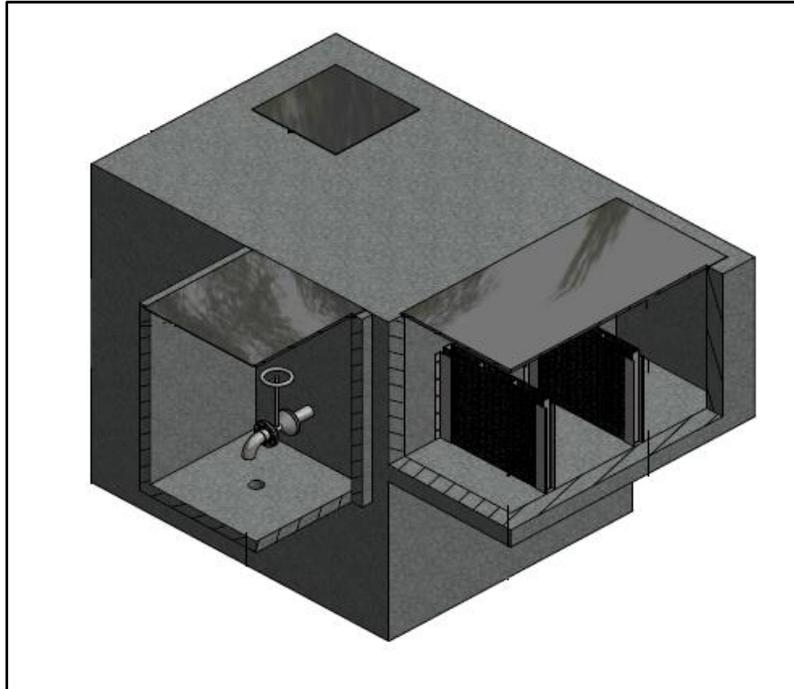
La bomba debe ser sumergida, con capacidad para un caudal de 3.3 m<sup>3</sup>/h, y de preferencia debe existir una de back up. Es recomendable contar con dos fosas conectadas entre sí para un mayor almacenamiento.

Figura 31. Fosa de captación de lodos vista lateral



Fuente: elaboración propia.

Imagen 32. **Fosa de captación de lodos**



Fuente: elaboración propia.

Imagen 33. **Bomba de recirculación de lodos**



Fuente: [www.ficit.it.com](http://www.ficit.it.com) Año 2016.

### 2.6.11. Bomba dosificadora de cloro

El agua tratada que sale de los módulos, necesita de un tratamiento de desinfección por agregación de hipoclorito de sodio al 40%, dosificado por una bomba de un caudal de 3.8 l/h.

Figura 34. Bomba dosificadora de cloro



Fuente: [www.hidrofiltrec.com](http://www.hidrofiltrec.com). Año 2016.



## 4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. Comparación de parámetros de caracterización vrs ley local en sus distintas etapas.

Para conocer el estatus actual de cumplimiento de las aguas residuales es importante hacer un comparativo respecto a los distintos parámetros que exige el Acuerdo Gubernativo 236-2016 en sus diferentes etapas, los cuales se presentan a continuación.

Tabla VII. Cuadro comparativo de cumplimiento de parámetros por etapa

Parámetro	Dimensional	Descarga Aguas Residuales	LMPE tapa 1 (02/05/2011)	LMPE tapa 2 (02/05/2015)	LMPE tapa 3 (02/05/2020)	LMPE tapa 4 (02/05/2024)
Caudal	L/s	1.04	--	--	--	--
Temperatura ( <i>in-situ</i> )	°C	27.3	<40	<40	<40	<40
Grasas y Aceites	mg/l	88.57	200	100	60	60
Materia flotante	-----	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/l	467	1500	700	400	200
Sólidos sedimentables	ml/l	0.64	--	--	--	--
Nitrógeno total	mg/l-N	86.25	180	150	80	40
Fósforo total	mg/l-P	7.68	75	40	20	10
Coliformes fecales	NMP/100ml	$5.4 \times 10^3$	$<1 \times 10^5$	$<1 \times 10^5$	$<1 \times 10^4$	$<1 \times 10^4$
pH ( <i>in-situ</i> )	uPH	5.58	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
DQO	mg/l-O <sub>2</sub>	1282	--	--	--	--
DBO <sub>5</sub>	mg/l-O <sub>2</sub>	754	1500	750	450	200
Relación DQO/DBO	--	1.7	--	--	--	--
Color	U Pt-Co	211	1300	1000	750	500

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior, los resultados en rojo indican incumplimiento según sea la etapa del Acuerdo Gubernativo en su Artículo 28, lo cual permite ver de

una forma visual en qué etapa estamos fuera de los límites permitidos de los parámetros analizados.

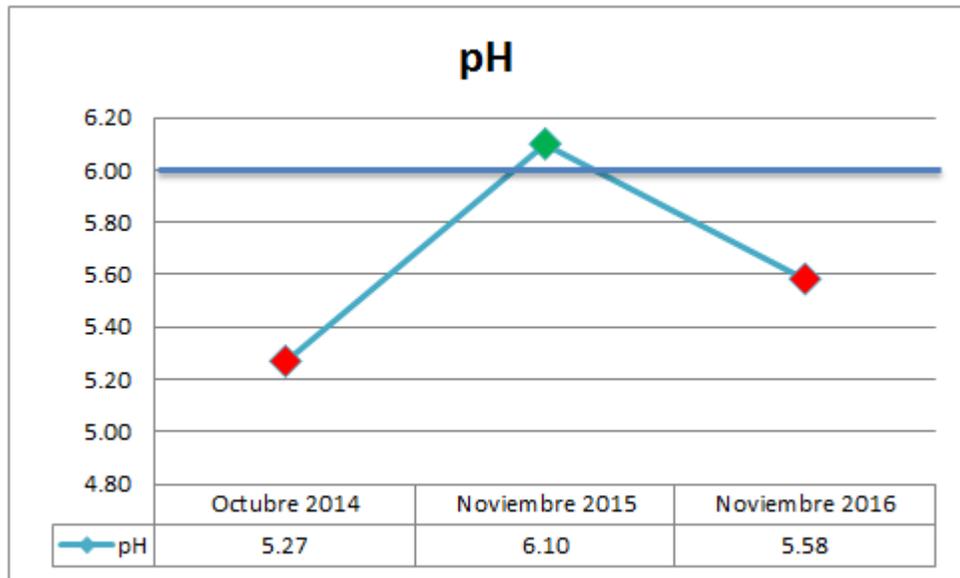
Para conocer el comportamiento de los cinco parámetros en incumplimiento se hace un comparativo con las mediciones realizadas en dos años anteriores, lo que permitirá conocer la tendencia y comportamiento de estos.

**Tabla VIII. Cuadro comparativo de parámetros en caracterización del año 2014 al año 2016**

<b>Parámetros</b>	<b>Dimensional</b>	<b>Noviembre 2016</b>	<b>Noviembre 2015</b>	<b>Octubre 2014</b>
Caudal promedio	L/s	1.04	0.90	0.78
Carga de DBO	Kg/día	41.87	58.23	78.33
Arsénico	mg/L-As	0.004	0.006	0.005
Cianuro	mg/L-CN-	<0.01	<0.03	<0.03
Color	U Pt-Co	211.14	228.00	364.00
Cromo (VI)	mg/L-Cr	<0.05	<0.10	<0.10
DBO	mg/L-O <sub>2</sub>	754.29	805.00	1157.00
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	1282.14	1395.00	2082.00
DQO/DBO	---	1.97	2.10	1.78
Fósforo Total	mg/L-P	7.68	8.76	9.19
Grasas y Aceites	mg/L	88.57	88.97	91.20
Materia Flotante	---	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno Total	mg/L-N	86.29	89.34	95.60
pH	---	5.58	6.10	5.27
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.64	0.79	0.20
Sólidos suspendidos	mg/L	466.57	501.22	509.99
Temperatura	°C	27.30	28.20	27.80
Coliformes fecales	NMP/100mL	5400.71	5736.00	6890.00

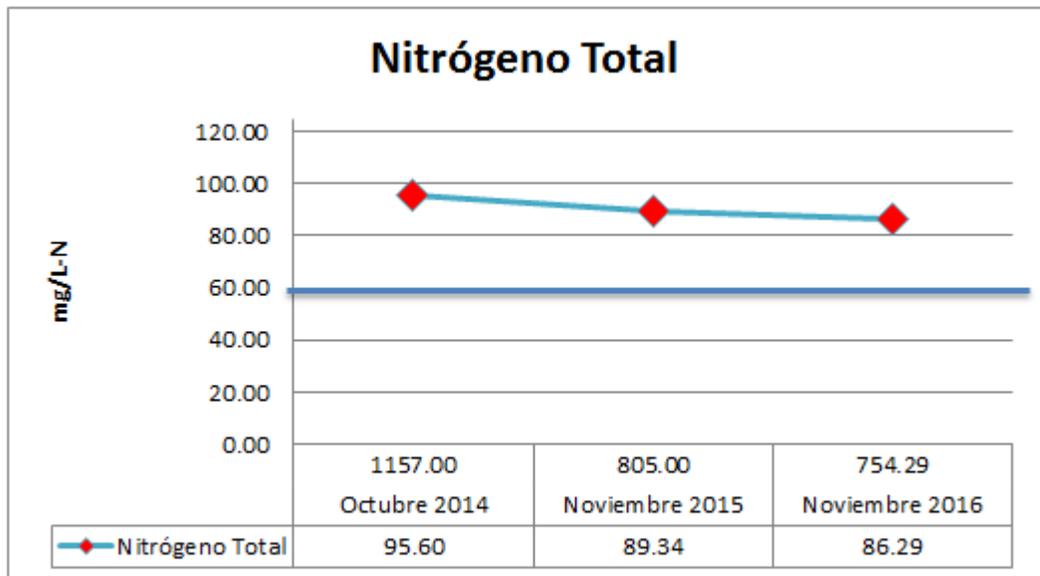
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. pH de 2014-2016



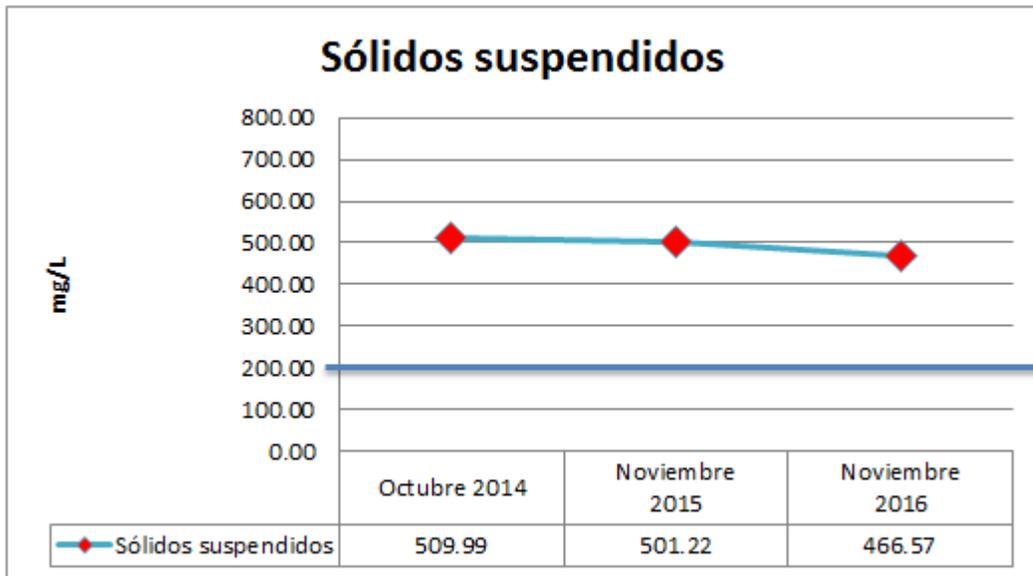
Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Nitrógeno de 2014-2016



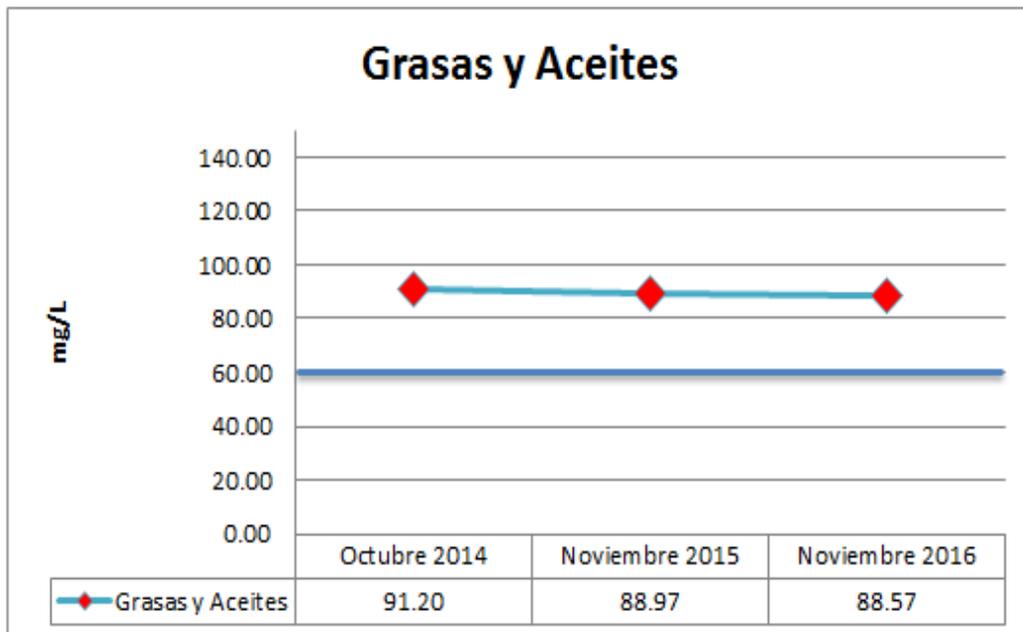
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Sólidos suspendidos de 2014-2016**



Fuente: elaboración propia.

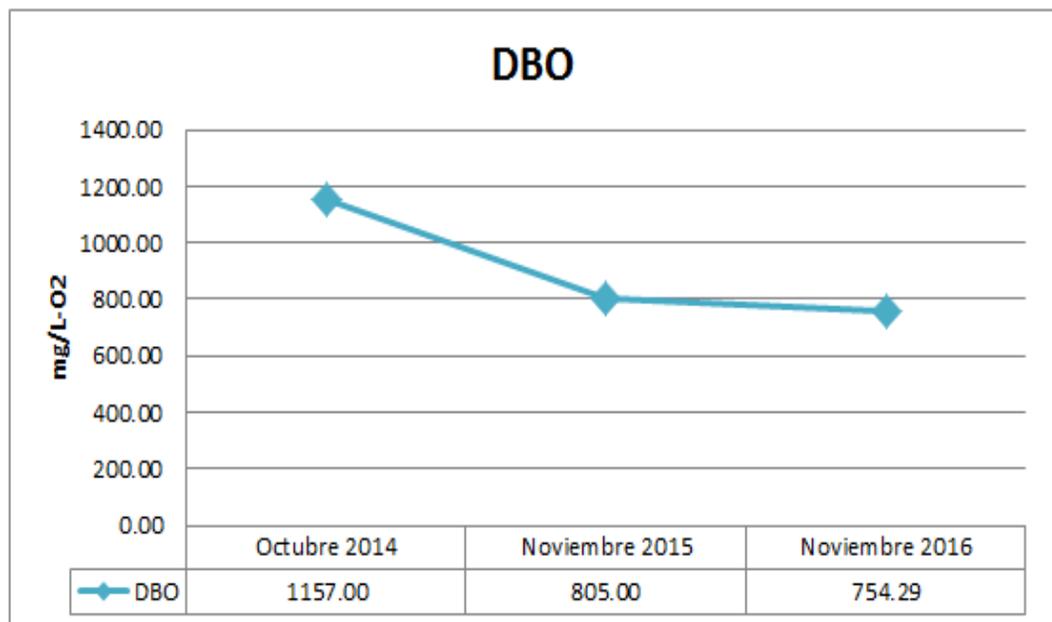
Figura 38. **Grasas y aceites 2014-2016**



Fuente: elaboración propia.

Al ver el comportamiento del parámetro de DBO, se ve una mejoría significativa de 2014 a 2015, luego ha sido constante su comportamiento como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 39. **DBO de 2014-2016**



Fuente: elaboración propia.

Para tener una referencia, SIMONS y las directivas de la Unión Europea definen que en la superficie deben prevalecer los valores mínimos de DQO/DBO5 para indicar la probabilidad de degradación de las aguas residuales comerciales cuando se utilizan microorganismos inadaptados de acuerdo al siguiente cuadro.

Tabla IX. **Valores de la relación DQO/DBO5**

Recomendación de tratamiento	Valor
Ambiente tóxico que no permite la aclimatación (adaptación )	> 10
Materia organica poco degradable	10
Aguas residuales inaccesibles a un tratamiento biológico o que necesitan aclimatación	5
Aguas residuales accesibles a un tratamiento biológico	2.5
Materia orgánica moderadamente degradable	2
Aguas residuaels fáciles de utilizar biológicamente	1.6
Materia orgánica muy degradable	< 1.5

Fuente: Manual de Disposición de Aguas Residuales CEPI S/OPS/OMS y Normativa UE, año 2017.

En el caso del efluente de la fábrica, el valor inicial del Modelo de Reducción Progresiva de cargas de DBO quedó establecido en el Estudio Técnico de Aguas Residuales de diciembre del 2013, con una valor inicial de 3500 mg/L y de acuerdo al modelo, el valor para las etapas posteriores se presentan a continuación:

Tabla X. **Modelo de reducción progresiva fábrica de alimentos**

Parámetro	Valor Inicial	Etapa y meta de cumplimiento			
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Parámetro de calidad asociado DBO <sub>5</sub> (mg/L)	3500	1500	750	450	200

Fuente: elaboración propia.

Para definir los parámetros que se pueden alcanzar con el tratamiento propuesto, a continuación se hace una proyección basada en grasas y aceites, sólidos suspendidos, nitrógeno, color y DBO.

**Tabla XI. Modelo de remoción esperada para proyección de parámetros a alcanzar**

		REMOCIÓN ESPERADA											REMOCIÓN TOTAL	
		FILTRACIÓN PRIMARIA		CRIBA		HOMOGENIZACIÓN DE AGUA		SEDIMENTADOR LAMELAR		FILTRACIÓN FINAL				
Parámetros	Dimensionales	Valores Obtenidos por laboratorio	%Remoción	Valor Esperado	%Remoción	Valor Esperado	%Remoción	Valor Esperado	%Remoción	Valor Esperado	%Remoción	Valor Esperado	%Remoción	Valor Esperado
Grasas y Aceites	Miligramos por litro	88.57	9%	7.97	11%	9.74	4%	3.54	12.54%	11.11	7%	6.20	44%	50
Sólidos Suspendidos	Miligramos por litro	467	14%	63.40	17%	79.25	7%	31.70	20%	91.93	11%	50.72	68%	150
Nitrógeno total	Miligramos por litro	86.25	12%	10.25	15%	12.81	6%	5.12	17%	14.86	10%	8.20	59%	35
DBO	Miligramos por litro	754	17%	130.79	22%	163.49	9%	65.39	25%	189.64	14%	104.63	87%	100
Color	Unidades platino cobalto	211	1%	2.20	1%	2.75	1%	1.10	2%	3.19	1%	1.76	5%	200

Fuente: elaboración propia.

Con base a la tabla anterior y los parámetros que establece el Artículo 28 del Acuerdo 236-2006, se proyecta los valores a alcanzar con el tratamiento de aguas residuales sugerido, logrando así una buena calidad de agua para disposición final y estar en cumplimiento con ley local.

Tabla XII. **Proyección de parámetros a alcanzar con tratamiento propuesto**

Parámetros	Dimensionales	Parámetros Esperados
Temperatura	°C	< 40
Grasas y Aceites	mg/L	60
Materia Flotante	Ausencia/Presencia	Ausente
Sólidos Suspendidos	mg/L	200
Nitrógeno total	mg/L	40
Fósforo total	mg/L	10
Potencial de hidrógeno	Unidades Potencial Hidrógeno	6 a 9
Coliformes Fecales	Número mas probable en cien mililitros	< 1*10 <sup>4</sup>
Arsénico	mg/L	0.1
Cadmio	mg/L	0.1
Cianuro total	mg/L	1
Cobre	mg/L	3
Cromo hexavalente	mg/L	0.1
Mercurio	mg/L	0.1
Níquel	mg/L	2
Plomo	mg/L	0.4
Zinc	mg/L	10
Color	Unidades Platino Cobalto	500

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Valores de los parámetros exentos de medición en las aguas residuales**

Parámetros	Dimensionales	Valores promedio	LMP Cuarta etapa
Arsénico	mg/L	< 0.002	0.1
Cadmio	mg/L	< 0.02	0.1
Cianuro	mg/L	< 0.1	1
Cobre	mg/L	< 0.03	3
Cromo VI	mg/L	< 0.1	0.1
Mercurio	mg/L	< 0.002	0.01
Níquel	mg/L	< 0.05	2
Plomo	mg/L	< 0.05	0.4
Zinc	mg/L	0.65	10

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Presupuesto.

Para la llevar a cabo la propuesta de la planta de tratamiento de aguas residuales, se estima un presupuesto de inversión de Q3, 661,530.00, el cual a continuación se describe.

Tabla XIV. Cuadro de inversión del proyecto

INVERSIÓN		
No.	Descripción	Monto
1	Obra Civil	Q250,000.00
2	Maquinaria y equipos	Q2,976,600.00
3	Instalaciones y servicios	Q75,000.00
4	Montaje e instalación	Q236,930.00
5	Transporte	Q123,000.00
	<b>TOTAL</b>	<b>Q3,661,530.00</b>

Fuente: elaboración propia.

En los anexos se puede observar las cotizaciones de los distintos rubros que involucran el proyecto.

## 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 3.3. Comparación de parámetros de caracterización vrs ley local en sus distintas etapas.

En la tabla VIII se puede observar en la tabla comparativa, hay dos parámetros que están en incumplimiento en la etapa dos, los cuales son pH y DBO<sub>5</sub>, mismos que por ende, siguen en incumplimiento para la etapa tres, a la cual se unen tres parámetros más, los cuales son Nitrógeno, sólidos suspendidos además de grasas y aceites.

El Reglamento establece en el Artículo 29 la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), a efecto de establecer su relación con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y se analiza para identificar el tipo de tratamiento más adecuado que debe aplicarse a las aguas residuales especiales.

En la tabla IX se puede observar que el pH en el año 2015, en la caracterización realizada estaba en cumplimiento, lo cual indica que este puede verse afectado por productos estacionarios, una elevada producción de chile en la semana analizada u otros factores, lo que indica que para el diseño propuesto de la planta de tratamiento es acertado incluir en medidor en línea para la dosificación de sustancias que neutralicen este parámetro.

En el gráfico 36, 37 y 38, se observa que el comportamiento del Nitrógeno, sólidos suspendidos además de grasas y aceites respectivamente, han sido estables a través de los años, lo que indica que el proceso no es variable, permitiendo de esta manera que en tratamiento biológico propuesto pueda alcanzar con mayor facilidad dichos.

De acuerdo al resultado obtenido en laboratorio como lo muestra la tabla X de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> las aguas residuales de la fábrica son aguas con materia orgánica moderadamente degradable.

Otro resultado importante que se obtuvo en la investigación, fue que el que se muestra en la tabla XIV, permitiendo identificar parámetros que quedan exentos de medición, como se muestra a continuación

- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro
- Cobre
- Mercurio
- Níquel
- Plomo

La exclusión obedece que todos estos elementos o compuestos no están presentes en las materias primas o materiales elaborados en la fábrica, además presentaron valores muy por debajo del valor límite requerido por el Reglamento para la cuarta etapa de cumplimiento, de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio y como referencia a análisis hechos en años anteriores.

### **3.4. Presupuesto de inversión.**

Los proyectos de tratamiento de aguas residuales son evaluados en base al criterio del costo mínimo ya que no es posible determinar un retorno de inversión debido a que no genera o produce ingresos monetarios. Esto va ligado con la dificultad de cuantificar y valorar los beneficios, por tal razón, este tipo de proyecto se enfoca básicamente en el mejoramiento de la calidad de vida de la población, desarrollo y no afectación al ecosistema, además del cumplimiento a leyes del país. Por lo dicho anteriormente es que los beneficios son considerados intangibles y no cuantificables.



## CONCLUSIONES

1. De los trece parámetros en análisis, cinco de ellos están fuera de especificación respecto al Acuerdo Gubernativo 236-2006 en sus etapas tres y cuatro, siendo estos grasas y aceites con un valor de 88.57 mg/l, sólidos suspendidos en 467 mg/l, Nitrógeno 86.25 mg/l-N, pH en 5.58 unidades y DBO en 754 mg/l-O<sub>2</sub>.
2. El diseño de una planta de tratamientos de aguas residuales modular de acero inoxidable con tratamiento biológico aeróbico, con capacidad de 90 m<sup>3</sup>/día es el adecuado para lograr el cumplimiento de los parámetros a alcanzar acorde al caudal de desfogue de la fábrica, además que el proceso biológico propuesto se realiza de una forma más rápida, efectiva y sin generar olores, lo cual es adecuado para una fábrica de alimentos.
3. La inversión necesaria para la ejecución del proyecto es de tres millones seiscientos sesenta y un mil quinientos treinta quetzales, lo cual incluye los trabajos de obra civil, maquinaria, equipos, montaje, instalaciones, servicios y transporte. Para este proyecto no es posible determinar un retorno de inversión debido a que no genera o produce ingresos monetarios. Este tipo de proyecto se enfoca en el mejoramiento de la calidad de vida de la población, buscando la sostenibilidad por medio del equilibrio económico, ambiental y social, además de permitir a la empresa estar en cumplimiento con la ley local, lo cual conlleva a no tener sanciones o multas.

4. Con el diseño propuesto de la planta de tratamiento de aguas residuales, después de tres a cuatro meses de su montaje y puesta, debido al proceso de crecimiento biológico se pueden alcanzar los parámetros establecidos en la etapa 4 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos”.

## RECOMENDACIONES

1. El diseño propuesto contempla un tratamiento primario robusto, lo que permite crear las condiciones adecuadas para la eliminación de sólidos en suspensión por medio de filtración antes de realizarse el proceso biológico, adicional a esto es recomendable analizar el proceso en funcionamiento para determinar si no es suficiente, adicionar proceso de coagulación – floculación y de esta forma hacer más eficiente el tratamiento de las aguas.
2. Previo a la implementación del proyecto debe realizarse un estudio de impacto ambiental y presentarlo al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, para obtener los permisos correspondientes y debe presentarse el proyecto a la Municipalidad para la obtención de la licencia de construcción, para de esta forma estar en total cumplimiento con la ley guatemalteca.
3. El Artículo 10 del Reglamento 236-2006 establece que se debe actualizar el contenido del ETAR (Estudio técnico de aguas residuales) cada cinco años, pero es recomendable efectuarlo al ejecutar el proyecto de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales, para dar a conocer las mejoras en el proceso y documentar el cumplimiento.
4. Se recomienda implementar un plan de capacitación de operación y mantenimiento, para que el personal operativo y técnico desarrollen las competencias y puedan intervenir los equipos adecuadamente;

adicional a esto un buen plan de limpieza y mantenimiento preventivo para asegurar su correcto funcionamiento.

5. Para la disminución del consumo de agua en la fábrica, se recomienda la reutilización de esta a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales colocando un filtro de arena y carbón como último proceso de limpieza, y posteriormente utilizarla para riego de áreas verdes o para los inodoros de los servicios sanitarios, de esta forma impactar positivamente reduciendo el consumo.
  
6. Para asegurar el cumplimiento con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y evidenciar la responsabilidad social y ambiental de la empresa, se recomienda implementar el control anual del volumen de los lodos precipitados y aguas desfogadas, presentando al Ministerio de Ambiente la constancia de la disposición sanitaria final de los desechos y caracterizaciones de aguas realizadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arboleda Valencia, J. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá D.C.: McGraw Hill.
2. Estevez F.S. y Gaztambide J. F. (1995). Oxígeno puro para tratamiento de aguas residuales urbanas.
3. Jagnow G. y Dawid W. (1991). Biotecnología: Introducción con experimentos modelo. Editorial Acribia S.A. Zaragoza.
4. Gordon M., Geyes John C., Okum D. (1973). Purificación de aguas y tratamientos y remoción de aguas residuales, Editorial limusa, primera edición.
5. Bailey J.E. y D.F. Ollis (1980), Biochemical Engineering Fundamentals. Editorial Mc Graw Hill.
6. Douglas J.M. (1998). Conceptual Design of Chemical Processes, Editorial McGraw Hill Inc.
7. Leeuwen, J., & Pretorius, W. (2007). Sludge Bulking Control with Ozone. Water and Environmental Journal. Páginas 223-227
8. Lozano-Rivas, W. (2012). Tratamiento de Aguas Residuales. Bogotá D.C., Colombia. Recopilado de <http://wlozano.blogspot.com>.

9. Malina, J., & Pohland, F. (1992). Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes. New York: Technomic.
10. Metcalf & Eddy. Ed. Mc.Graw-Hill (1998). Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, vertido y reutilización. Páginas 41-63.
11. Miguel Rigola Lapeña. Marcombo. Boixareu Editores (1989). Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. Páginas 50-89.
12. Ramos Castellano P. Universidad Salamanca (2001). El agua, un bien para todos. Conservación, recuperación y usos. Páginas 121-160.
13. Mitchell R. (1989). Introduction to Environmental Microbiology. Ed. Prentice Hall Inc.
14. Ramalho R. S. Ed. Reverté (1996). Tratamiento de aguas residuales. Páginas 201-235.
15. Romero Rojas, J. A. (1999). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

## ANEXOS

**Tabla XV. Modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno**

<b>Etapa</b>	<b>Uno</b>				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil once				
<b>Duración, años</b>	5				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG<50000	50000≤EG<250000
<b>Reducción porcentual</b>	10	20	30	35	50
<b>Etapa</b>	<b>Dos</b>				
<b>Duración, años</b>	4				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil quince				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000≤EG<5500	5500≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<50000	50000≤EG<125000
<b>Reducción porcentual</b>	10	20	40	45	50
<b>Etapa</b>	<b>Tres</b>				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil veinte				
<b>Duración, años</b>	5				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000≤EG<5000	5000≤EG<10000	10000≤EG<30000	30000≤EG<65000	
<b>Reducción porcentual</b>	50	70	85	90	
<b>Etapa</b>	<b>Cuatro</b>				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
<b>Duración, años</b>	4				
<b>Carga, kilogramos por día</b>	3000<EG<4000		4000≤EG<7000		
<b>Reducción porcentual</b>	40		60		

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Tabla XVI. **Coordenadas de sistemas fosa séptica-pozo de absorción**

<b>Punto de descarga</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>
Fosa séptica 1	14° 38' 32.64" N, 90° 47' 5.39" O
Fosa séptica 2	14° 38' 36.13" N, 90° 47' 6.34" O

Fuente: Elaboración propia

Figura 40. **Localización de Fosas sépticas de planta**



Fuente: Google Earth®, 2016