



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRIORIZADOS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006
EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE
EMBUTIDOS Y SU CUMPLIMIENTO**

Hugo Ediño Chub Ac

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRIORIZADOS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006
EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE
EMBUTIDOS Y SU CUMPLIMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HUGO EDIÑO CHUB AC

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Gerardo Ordoñez
EXAMINADOR	Ing. Miguel Galván Gilberto Estrada
EXAMINADOR	Dr. Adolfo Gramajo Narcio Antonio
SECRETARIA	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:

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRIORIZADOS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006
EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE
EMBUTIDOS Y SU CUMPLIMIENTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha el 19 de julio de 2016.



Hugo Edño Chub Ac

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Guatemala 22 de julio de 2019

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía

Tengo el agrado de dirigirme a usted deseándole éxitos en sus labores diarias. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final de trabajo de graduación, denominado: **EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRIORIZADOS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS Y SU CUMPLIMIENTO**, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, **Hugo Edíño Chub Ac**, quien se identifica con el registro académico **200815243** y número de CUI **1830 82761 1601**.

Agradeciendo la atención a la presente me suscribo de usted,

Atentamente,



Ingeniero Químico Jorge Mario Estrada Asturias
ASESOR
Colegiado activo No. 685

Jorge Mario ESTRADA ASTURIAS
M. Sc. Ingeniero Químico Col. 685
PROFESOR TITULAR
Facultad de Ingeniería
Registro USAC 20080059



Guatemala, 29 de julio de 2019.
Ref. EIQ.TG-IF.029.2019.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **023-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Hugo Ediño Chub Ac.**
Identificado con número de carné: **1830 82761 1601.**
Identificado con registro académico: **200815243.**
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRIORIZADOS DEL ACUERDO
GUBERNATIVO 236-2006 EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS Y SU CUMPLIMIENTO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



[Handwritten Signature]
Ing. Jaime Domingo Carranza González
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.072.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación, de la carrera de Ingeniería Química, del estudiante, **HUGO EDIÑO CHUB AC** titulado: **"EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRIORIZADOS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS Y SU CUMPLIMIENTO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"



Ing. Williams G. Álvarez Mejía; M.I.Q., M.U.I.E
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, noviembre de 2019

Cc: Archivo
WGAM/ale



DTG. 573.2019

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 Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRIORIZADOS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS Y SU CUMPLIMIENTO**, presentado el estudiante universitario: **Hugo Ediño Chub Ac**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2019

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la sabiduría necesaria para culminar una etapa más en mi vida.
- Mis padres** Hugo Alfonso Chub Yat y Ángela Ac Bol, por su esfuerzo al darme la oportunidad de formarme profesionalmente.
- Mis hermanos** Zulma, Bryana, María Fernanda, Marquiño e Ivan Chub Ac, por ser quienes han estado en mi vida, dándome su apoyo compartiendo los buenos y malos momentos. Gracias.
- Mis abuelas** Margarita Bol y Encarnación Yat, por su apoyo y sus palabras de aliento que ayudaron a que alcanzara una meta más en mi vida, por ser una fuente de enseñanzas y superación.
- Mi familia** Tíos y primos, con quienes he compartido en el viaje de mi vida que han sido una fuente de apoyo, instrucción y amor.
- Mis amigos** Por permitirme compartir a su lado durante estos años y aprender a su lado.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y darme la oportunidad y el privilegio de formarme bajo su techo.
Facultad de Ingeniería	Por formarme profesionalmente, brindándome las experiencias y los conocimientos necesarios para ejercer como un profesional con valores éticos.
Mis padres	Hugo Alfonso Chub Yat y Angela Ac Bol, por haberme dado la vida y las herramientas para ir desarrollándome a lo largo de los años y servirme de ejemplo e inspiración.
Mis hermanos	Zulma, Marquiño, Bryana, María Fernanda e Iván, que han sido un motor para mi vida en los momentos más oscuros y me han dado la motivación para avanzar siempre.
Mis abuelas	Margarita Ac y Encarnación Yat, que con su ejemplo me han inspirado, por su amor incondicional.
Mi familia	Gracias por sus invaluable consejos y su apoyo durante toda mi vida.

Mis amigos

Héctor Mendoza, Marco Juárez, Erick López, Ana Montes, Mario Pacay, Victoria Miranda, Fernanda Juárez, Aylin Berqueffer, Ligia Ramírez; sé que están compartiendo esta alegría.

Mi asesor

Ingeniero Jorge Mario Estrada Asturias, por sus consejos, su colaboración y su orientación en todo el transcurso de mi trabajo de investigación.

Hemm tech

Ing. Hans Marroquín, por su colaboración y apoyo al abrir las puertas en esta empresa para ejecutar mi trabajo de graduación.

Ing. Osmin Jared Vásquez

Por su vocación que a través de ella me inspiró a formarme en el área profesional de la ingeniería química.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Composición de aguas industriales	3
2.2. Embutidos.....	4
2.2.1. Composición básica de embutidos	4
2.2.2. Produccion de embutidos	5
2.3. Principales fuentes de generación de parámetros de aguas residuales en una industria de embutidos.....	6
2.4. Tratamiento de aguas residuales.....	7
2.4.1. Pretratamiento	8
2.4.1.1. Bastidores de barrera y filtros de barrera	8
2.4.1.2. Flotación	9
2.4.1.3. Homogeneizador	11
2.4.2. Tratamiento primario.....	13
2.4.2.1. Sedimentación	15

	2.4.2.2.	Coagulación	15
	2.4.2.3.	Floculación	17
	2.4.3.	Tratamiento secundario.....	18
	2.4.3.1.	Digestión aeróbica.....	19
	2.4.3.2.	Digestión anaeróbica.....	20
	2.4.3.3.	Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica ...	22
2.5.		Tratamiento de aguas residuales propuesto para la industria cárnica	23
2.6.		Caso de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria de embutidos.....	24
	2.6.1.	Tamiz estático (pretratamiento).....	25
	2.6.2.	Trampas de grasa (pretratamiento).....	26
	2.6.3.	Tanque imhoff	27
	2.6.4.	Lodos activados	28
2.7.		27 Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	30
	2.7.1.	Temperatura.....	30
	2.7.2.	Potencial de hidrógeno.....	31
	2.7.3.	Sólidos suspendidos totales	31
	2.7.4.	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, a veinte grados Celsius	32
	2.7.5.	Demanda química de oxígeno.....	33
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
	3.1.	Variables de control.....	35
	3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	36
	3.2.1.	Campo de estudio	36
	3.2.2.	Procesos que conforman la investigación	36
	3.2.3.	Material de control de la investigación	37

3.3.	Recursos humanos disponibles	37
3.4.	Recursos materiales disponibles	37
3.4.1.	Equipo	37
3.4.2.	Cristalería	38
3.4.3.	Otros.....	38
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	38
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	39
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	40
3.8.	Tamaño del muestreo	41
3.9.	Tabulación y ordenamiento de los datos	42
3.10.	Análisis estadístico	43
3.10.1.	Media aritmética	44
3.10.2.	Desviación estándar	44
3.10.3.	Coefficiente de variación de Pearson	45
3.10.4.	Eficiencia en remoción.....	45
3.10.5.	Prueba de hipótesis para los parámetros en estudio	46
4.	RESULTADOS	47
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	APÉNDICES	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Promedio de composición de embutidos.....	5
2.	Priorización de parámetros del acuerdo gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico	6
3.	Ilustración de corte longitudinal de una trampa de grasa	11
4.	Cambios en la tasa de flujo regular y la carga de masa regular de DBO durante un día típico.....	12
5.	Sistema de tratamiento para una industria de alimentos propuesto por el ministerio de ambiente de Japón	23
6.	Diagrama planta de tratamiento en estudio.....	24
7.	Planta de tratamiento en estudio.....	25
8.	Tamiz estático autolimpiante	26
9.	Fotografía de trampas de grasa en serie instaladas	27
10.	Diagrama de un tanque Imhoff.....	28
11.	Diagrama de un sistema de lodos activados	30
12.	Caudal promedio diario	34
13.	Diagrama planta de tratamiento en estudio.....	41
14.	pH entrada de planta de tratamiento 2016	47
15.	pH, salida de filtro 2016.....	48
16.	pH, salida de trampas de grasa 2016.....	48
17.	pH, tanque aerobio 2016.....	49
18.	pH, salida de planta 2016.....	49
19.	Temperatura, entrada de planta de tratamiento 2016	50
20.	Temperatura, salida de filtro 2016.....	50

21.	Temperatura, salida de trampas de grasa 2016	51
22.	Temperatura, tanque aerobio.....	51
23.	Temperatura, salida de planta 2016	52
24.	Sólidos suspendidos, entrada de planta de tratamiento 2016.....	52
25.	Sólidos suspendidos, salida de filtro 2016	53
26.	Sólidos suspendidos salida de trampas de grasa 2016	53
27.	Sólidos suspendidos, tanque aerobio 2016	54
28.	Sólidos suspendidos, salida de planta 2016	54
29.	porcentaje remoción material flotante	55

TABLAS

I.	Parámetros en los que influyen las principales fuentes de generación de componente de aguas residuales en la industria de embutidos.....	7
II.	Procesos físicos en el tratamiento primario	14
III.	Procesos químicos en el tratamiento primario.	14
IV.	Valores de PH óptimos para efluentes que ingresan a tratamiento anaerobio.....	21
V.	Valores de temperatura y tiempos de digestión en tratamiento anaerobio.....	22
VI.	Variables dependientes e independientes	35
VII.	Variables e indicadores.....	35
VIII.	Muestreo análisis de laboratorio	42
IX.	Muestreo DBO y DQO entrada de planta de tratamiento.....	42
X.	Muestreo DBO y DQO en salida de planta de tratamiento.....	42
XI.	Muestreo en trampas de grasa	43
XII.	Muestreo de parámetros fisicoquímicos en estaciones	43
XIII.	Análisis, grasas y aceites.....	55
XIV.	Muestreo DBO y DQO en entrada y salida de planta de tratamiento.....	56

XV. Comparación respecto parámetros de acuerdo gubernativo 236-2006... 56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
°C	Grados Celsius
g	Gramo
G y A	Grasas y aceites
h	Hora
Kg	Kilogramo
L	Litro
LI	Límite inferior
LMP	Límite máximo permisible
LS	Límite superior
mm	Milímetros
mL	Mililitro
min	Minuto
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
SST	Sólidos suspendidos totales
TRH	Tiempo de retención hidráulico

GLOSARIO

Acuerdo Gubernativo 236-2006	Es el reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos. Su objetivo es establecer criterios y requisitos a cumplir con el fin de proteger los receptores de aguas residuales, promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada y promover la conservación y el mejoramiento del recurso hídrico.
Afluente	El agua captada por un ente generador.
Embutidos	En la industria de alimentos engloba a todos los alimentos elaborados por medio de carne de cerdo, aunque hoy en día, también se elaboran embutidos de carnes blancas, como las carnes de pollo y el pavo, que en adición a otros ingredientes es introducida (embutida) en piel de tripas de cerdo o alguna tripa artificial
Digestión aeróbica	La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.

Digestión anaeróbica	Proceso biológico en el que parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores.
Efluente	Las aguas residuales descargadas por un ente generador.
DBO	Es una medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas.
DQO	Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltos o en suspensión en una muestra líquida.
Homogeneizador	Etapas del pretratamiento diseñada para amortiguar por laminación la variación del caudal y la tasa de carga orgánica para una instalación de tratamiento de aguas residuales, con el fin de conseguir un caudal constante o casi constante.
Límite máximo permisible	Valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas para reuso y lodos.

Pretratamiento

Es el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda ocasionar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares.

Tiempo de retención hidráulico

Este título se designa al volumen de sustrato orgánico ingresado diariamente al digestor.

Trampas de grasa

Las trampas de grasa son pequeños tanques de flotación natural, en donde los aceites y las grasas, con una densidad inferior a la del agua, se mantienen en la superficie del tanque para ser fácilmente retenidos y retirados.

RESUMEN

El caso de estudio se desarrolló en una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria de embutidos; el diseño de la planta actualmente cuenta con un pretratamiento, formado por un sistema de cribado y separadores por densidad (trampas de grasa), sistema secundario, el sistema anaerobio (tanque imhoff: actualmente fuera de línea) y sistema aerobio (lodos activados).

Los parámetros evaluados se tomaron del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y se priorizaron dichos parámetros de acuerdo a la caracterización de las aguas residuales; se apoyó a la vez en el trabajo de investigación *Priorización de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico (ciii 1511)* de Valle Oliva.

La planta de tratamiento operaba sin personal asignado para su mantenimiento y limpieza periódica antes del presente estudio, excepto por leves limpiezas al sistema. La implementación de un operario a cargo de la planta fue uno de los recursos disponibles al iniciar el estudio.

El monitoreo se ejecutó durante un periodo de seis semanas consecutivas durante las cuales se monitorearon parámetros priorizados: pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, material flotante, en diferentes etapas del tratamiento. De la semana tres a la semana seis, se continuó con el monitoreo de los parámetros ya mencionados y a su vez se monitorearon los parámetros de DBO, DQO, grasas y aceites. Se evaluaron de esta manera los parámetros priorizados de la planta de tratamiento en estudio, y su cumplimiento según el Acuerdo Gubernativo 236-2006; se evaluó de esta manera si el sistema de

tratamiento de aguas residuales evaluado correspondiente a una industria de embutidos remueve significativamente los parámetros priorizados analizados; por lo tanto, las características del efluente tratado no generan contaminación al medio ambiente.

OBJETIVOS

General

Evaluar una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria de embutidos y el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 con parámetros priorizados.

Específico

1. Priorización de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 en una industria de embutidos.
2. Caracterización de la planta de tratamiento de una industria de embutidos bajo estudio.
3. Toma de muestras en los puntos de muestreo y análisis de parámetros priorizados.
4. Comparar los resultados obtenidos conforme a los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
5. Determinar el porcentaje de remoción de parámetros priorizados del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

6. Establecer los puntos críticos de la planta de tratamiento de aguas residuales que generan incumplimiento en la norma del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

7. Proponer las mejoras que ayudaran a elevar el desempeño eficiente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

HIPÓTESIS

- Hipótesis de investigación

Una planta de tratamiento de una industria de embutidos cumple con los parámetros priorizados del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

- Hipótesis estadística

- Hipótesis nula

Una planta de tratamiento de aguas residuales no cumple con los parámetros priorizados del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

- Hipótesis alternativa

Una planta de tratamiento de aguas residuales no cumple con al menos uno de los parámetros priorizados del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional e industrial lleva consigo un impacto en el medio ambiente, el recurso agua es utilizado para diversas actividades, entre ellas las comerciales; genera desechos en forma de agua residual contaminada y afecta de esta manera, la riqueza natural del país; corre el riesgo de sufrir cambios irreversibles.

La industria de embutidos, un producto de consumo diario, tiene una alta demanda; esta industria utiliza agua como materia prima y genera cantidades considerables de aguas residuales.

Para asegurar que las aguas vertidas no generen contaminación que pueda poner en riesgo el equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente, se diseñan y se operan plantas de tratamiento de aguas residuales, teniendo estos sistemas tienen como fin reducir la contaminación hasta parámetros adecuados para ser vertidos.

Para tener un tratamiento adecuado de las aguas residuales estas deben pasar por distintas etapas de tratamiento; estas etapas en conjunto trabajan para lograr depurar las aguas contaminadas. Debido a que no todo los procesos industriales vierten los mismos contaminantes variando también sus concentraciones, es necesario evaluar de distinta forma las diferentes empresas, tomando en cuenta también que el reglamento actual establece parámetros generales sin establecer diferencias entre las distintas actividades industriales. Esta investigación pretende hacer comprender y demostrar que aún hay mucho por explorar en este campo y que es tan necesario para nuestro

país que cuenta con una amplia diversidad de hábitats que hoy se encuentran en riesgo de sufrir cambios irreversibles.

1. ANTECEDENTES

El tratamiento de aguas residuales industriales debería impactar en la misma magnitud con la revolución industrial lo hizo. El agua es un recurso vital para el ser humano, es materia prima para la mayoría de las industrias.

Desde hace varios años, se han desarrollado temas de investigación relacionados con el tratamiento y la protección de los cuerpos de agua por vertido de aguas residuales.

En octubre de 1992 Jaime Carranza, ingeniero químico, realizó la investigación denominada: *Aplicación de un tratamiento anaerobio y de un aerobio a un afluente de agroindustria de levadura*. Se compararon, a nivel laboratorio, ambos procesos; se concluyó que de los dos procesos aplicados el que mejor se presentó como alternativa de bajo costo, alta remoción, y fácil operación y mantenimiento, es el anaerobio.

En agosto de 2004, Fabiola Abigail Muralles Alvarado realizó el estudio de tesis denominado: *Determinación del comportamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales, durante su puesta en marcha*, Se evaluó la eficiencia del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de una planta industrial de aceites y grasas; de igual forma, se estableció si el efluente final de la planta cumplía con los límites máximos permisibles, según el reglamento de aguas residuales.

En mayo de 2009 en Guatemala, Carlos Augusto Mérida Caceros realizó el proyecto denominado: *Evaluación para la optimización de la planta de*

tratamiento de aguas residuales del municipio de santa cruz la laguna, Sololá. Se realizó una evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales el objetivo fue identifica y proponer cambios para mejorar su operación e incrementar la eficiencia.

En marzo de 2012, Modesto Antonio Tala Sal desarrollo, el proyecto denominado: *Evaluación y propuesta de mejoras para el sistema de tratamiento de aguas residuales de una industria manufacturera de harinas de origen vegetal.*

En abril de 2012, Beatriz Adriana Valle Oliva realizó el estudio de tesis denominado: *Priorización de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico (ciiu 1511).* Para la priorización de los parámetros se trabajó con los entes generadores ubicados en el área metropolitana registrados en la base de datos de la URHC del MARN; se obtuvo información de los estudios técnicos, monitoreo y visitas. Se cita la siguiente conclusión: “Dentro de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, el 76,92 % de las industrias aplica únicamente un pretratamiento; conformado por la separación de sólidos gruesos y de grasas y aceites. Para disminuir los parámetros prioritarios se propone el empleo al inicio de un pretratamiento hasta tratamiento terciario”.

Con la diversidad de industrias los efluentes de descarga de aguas residuales varían en su composición y sus características; por lo tanto, es necesario continuar realizando investigaciones en industrias específicas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Composición de aguas industriales

Las aguas residuales industriales varían en cantidad, composición y fuerza, dependiendo de la fuente industrial específica. Gran parte de los desperdicios industriales producen efectos nocivos en el agua en que se vierten.

Los daños provocados dependen de las características y las cantidades de las sustancias descargadas.

Los desperdicios industriales pueden clasificarse de la manera siguiente:

- Materiales minerales en suspensión o coloides: como las procedentes del carbón, de los humos de las chimeneas y de los desechos del lavado de minerales.
- Materias minerales disueltas: como las que provienen del drenaje ácido de las minas o en los pozos petrolíferos, la presencia de estas afecta la calidad del agua y, por lo tanto, el costo de purificación.
- Materias orgánicas, vegetales y animales: como los desperdicios de las refinерías de azúcar, de la remolacha, etc., los cuales que en solución o en suspensión, aumentan la turbiedad, el color, el contenido de materias en suspensión.

- Bacterias: como los bacilos (que se encuentran en los desperdicios de las curtidurías) que son nocivas para el hombre.
- Otros: entre los que se podrían mencionar: plomo, arsénico y los cianuros producidos en las operaciones de extracción del oro, todos ellos nocivos para el hombre.

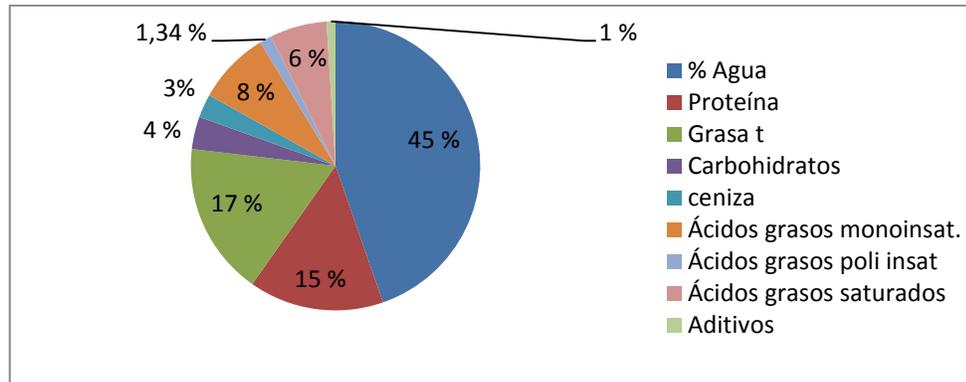
2.2. Embutidos

En la industria de alimentos, la palabra embutidos engloba a todos los alimentos elaborados por medio de carne de cerdo; aunque hoy en día, también se elaboran embutidos de carnes blancas, como las carnes de pollo y pavo, que en adición a otros ingredientes es introducida (embutida) en piel de tripas de cerdo o alguna tripa artificial.

2.2.1. Composición básica de embutidos

Los productos difieren por algunos factores: presentación, condimentación y en los métodos de producción utilizados; sin embargo, la composición básica de los embutidos están: los compuestos cárnicos (carne picada), agua, grasa, nitritos y nitratos, condimentos, sustancias de relleno y sustancias ligantes; en algunos se incluyen otros componentes: preservantes, antioxidantes y fijadores de color, ingredientes cárnicos.

Figura 1. **Promedio de composición de embutidos**



Fuente: INCAP. *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. p. 125.

2.2.2. **Producción de embutidos**

De forma general, el proceso de producción de embutidos se desarrolla al inicio con la recepción de materia prima para la primera etapa; luego, se transporta al área de picado; en la picadora, varias cuchillas y rejillas dividen las carnes en partes pequeñas de tal forma que puedan ser trituradas en el *cutter* (máquina mezcladora), esta es una máquina de gran capacidad que elabora la pasta para la producción de todos sus productos; después de este proceso pasa a ser formulada, dependiendo de la producción que se pretende realizar, esta operación consiste en pesar la carne para obtener las cantidades necesarias para cada producto.

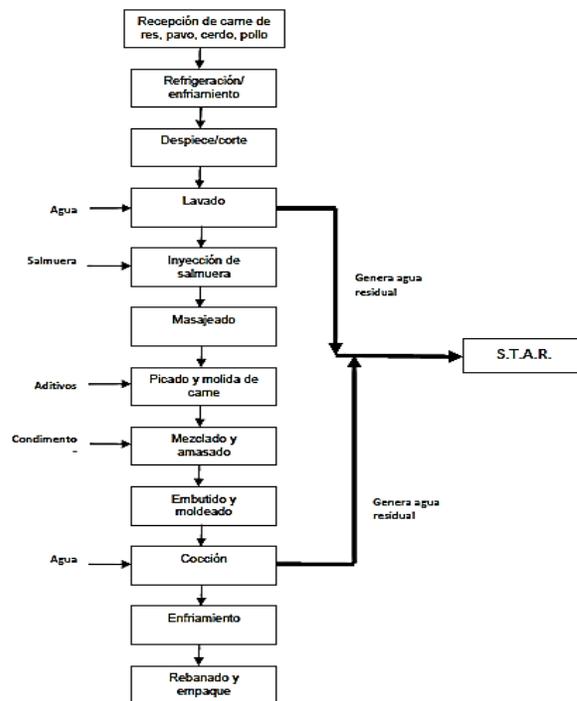
Después de la formulación de carnes, sus ingredientes se llevan al área de molienda para, a continuación, transferir la masa a la embutidora que consta de boquillas para introducir la pasta en la tripa y que se amarra a las condiciones normalizadas, para los productos que lo requieren; al final está la etapa en la que se realiza el secado a vapor y el ahumado; el horno seca y cocina a una

temperatura de 71 °C después de cocción pasa al enfriamiento en pilas a una temperatura de 5 °C lo que permite darle al producto un mayor cuerpo; pasa luego al empaque y sellado, listo para su distribución.

2.3. Principales fuentes de generación de parámetros de aguas residuales en una industria de embutidos

A continuación, se muestra en la figura 2 las fuentes de generación de parámetros de aguas residuales.

Figura 2. Priorización de parámetros del acuerdo gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico



Fuente: VALLE OLIVA, Beatriz Adriana. *Priorización de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico (ciiu 1511)*. p. 77.

Tabla I. **Parámetros en los que influyen las principales fuentes de generación de componente de aguas residuales en la industria de embutidos**

Parámetro	Principales fuentes
pH	Agua de escaldado, lavado de materia prima cárnica, lavado de equipos, productos detergentes y desinfectantes
Temperatura	Agua de escaldado, agua de cocción
G Y A	Agua de escaldado y lavado de canales
MF	restos de carne, restos de aditivos
SST	restos de carne, restos de aditivos
DBO	Lavado de materia prima cárnica, agua de escaldado, lavado de equipos
DQO	Lavado de materia prima cárnica, agua de escaldado, lavado de equipos, productos detergentes y desinfectantes
N total	productos detergentes y desinfectantes,
P total	Productos detergentes y desinfectantes
As	No se genera durante el proceso
Cd	No se genera durante el proceso
CN- total	No se genera durante el proceso

Fuente: VALLE OLIVA, Beatriz Adriana. *Priorización de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico (ciiu 1511)*. p. 78.

2.4. Tratamiento de aguas residuales

Los procesos y las operaciones unitarias se combinan y complementan para dar lugar a diversos niveles de tratamiento de las aguas.

Durante largo tiempo se ha categorizado el tratamiento de la siguiente manera: pretratamiento y primario refiriéndose a las operaciones físicas unitarias; secundario, refiriéndose a los procesos químicos o biológicos unitarios, y tratamiento terciario avanzado a las combinaciones de los tres. No

obstante, estos términos pueden ser arbitrarios. En esencia, el enfoque consiste en primera instancia, en establecer el nivel de eliminación de contaminación necesario antes de reutilizar o verter las aguas residuales al medio ambiente y agrupar las diferentes operaciones y procesos unitarios para alcanzar el tratamiento adecuado.

2.4.1. Pretratamiento

Prepara las aguas residuales para el tratamiento. Es el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda ocasionar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares.

Se utiliza para eliminar espuma aceitosa, escombros flotantes, sólidos gruesos, trapos y arenilla, los cuales pueden inhibir los procesos ecológicos y dañar el equipo mecánico. Los tanques homogeneizadores se utilizan para balancear flujos o carga orgánica. Los efluentes industriales pueden requerir adicionalmente pretratamiento fisicoquímico para la eliminación de amonio-nitrógeno (extracción con aire), ácidos/bases (neutralización), metales pesados (oxidación/ reducción, precipitación) o aceites (flotación de aire disuelto).

2.4.1.1. Bastidores de barrera y filtros de barrera

Placas o mallas perforadas de 10 mm o menos retienen los sólidos gruesos (objetos grandes, harapos, papel, botellas de plástico, entre otros) presentes en el agua residual, previenen el daño a la tubería y al equipo mecánico que sigue este pasó del tratamiento. Se limpian a mano en algunas plantas más viejas y más pequeñas, pero la mayoría está equipada con rastrillos limpiadores automáticos. Típicamente, se dispone de las filtraciones

enviándolas a rellenos sanitarios o a incineración. Como una alternativa a los filtros, algunas plantas utilizan un pulverizador, el cual muele (pulveriza) los sólidos gruesos sin removerlos del flujo de aguas residuales. Esta reducción en tamaño hace que el sólido sea más fácil de tratar en operaciones subsecuentes que emplean el asentamiento.

2.4.1.2. Flotación

En la práctica común, la flotación es esencialmente una operación unitaria de tratamiento de aguas residuales y se aplica, por lo general, en una de las dos formas siguientes:

- Flotación natural: los aceites grasos y otras sustancias más ligeras que el agua tienden a levarse naturalmente hacia la superficie de los tanques a los que se acarrean las aguas residuales para que reposen. La elevación gravitacional natural de las partículas discretas es un fenómeno opuesto a la sedimentación, gravitacional natural y se caracteriza por respuestas análogas de las partículas y fluidos, Se aplica la ley de Stokes.
- Flotación por medio de aire: las partículas finas que son más pesadas que el agua, se elevan y se mantienen en la superficie de los tanques debido a la ayuda de aire y agentes de flotación parecidos a los reactivos de coagulación que se utilizan en sedimentación.
- Trampas de grasa

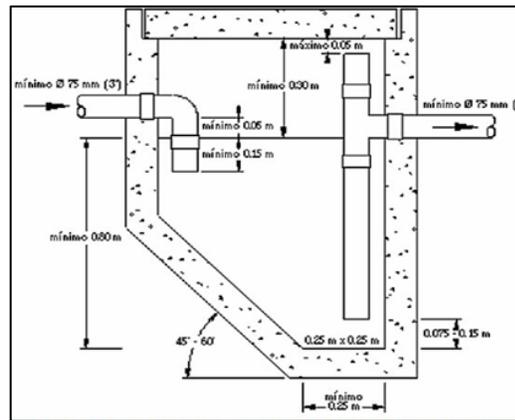
Las trampas de grasa son pequeños tanques de flotación natural en donde los aceites y las grasas, con una densidad inferior a la del agua, se mantienen en la superficie del tanque para ser fácilmente retenidos y retirados.

Estas unidades se diseñan en función de la velocidad de flujo o el tiempo de retención hidráulica (TRH), ya que todo dispositivo que ofrezca una superficie tranquila, con entradas y salidas sumergidas (a media altura), actúa como separador de grasas y aceites.

Para que una trampa sea eficaz debe tener un volumen adecuado. Este volumen, garantiza un tiempo de permanencia de 'las aguas' dentro de la trampa, lo que logra una separación efectiva de las grasas y los residuos sólidos.

Una trampa retiene por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación, el material graso. Hoy en día, las grasas, los aceites y los lubricantes (denominados FOG), específicamente, material generado en restaurantes locales, no tienen que volverse parte de la corriente de aguas residuales. Pueden fácilmente convertirse en biodiésel y ser utilizados para generar energía, cuando se combinan con gas digestor, o utilizados como un combustible suplementario en las plantas de desecho sólido a energía.

Figura 3. Ilustración de corte longitudinal de una trampa de grasa



Fuente: *Corte longitudinal de una trampa de grasa.*

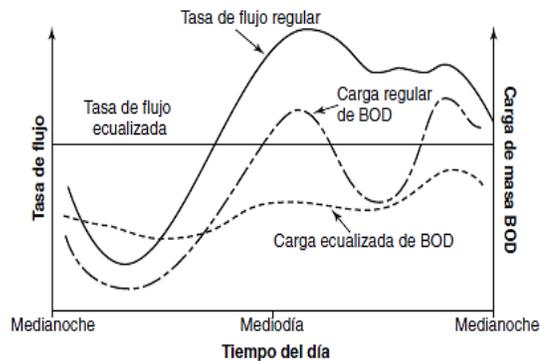
<http://www.bysde.paho.org/bysacd/cosude/xv.pdf>. Consulta: 15 de septiembre de 2018.

2.4.1.3. Homogeneizador

La homogeneización consiste simplemente en amortiguar por laminación la variación del caudal y la tasa de carga orgánica para una instalación de tratamiento de aguas residuales, con el fin de conseguir un caudal constante o casi constante.

La implementación de ecuilización de flujo en algunas instancias puede superar problemas operacionales asociados con las grandes variaciones de flujo y mejorar el desempeño de los procesos unitarios corriente abajo. Por ejemplo, los procesos biológicos utilizados durante el tratamiento de aguas residuales pueden ser más fácilmente controlados con una tasa de flujo estático y una carga casi constante de DBO. En adición, la implementación de ecuilización de flujo puede reducir el tamaño de los procesos de tratamiento corriente abajo y en algunos casos mejorar el desempeño en las plantas que están sobrecargadas.

Figura 4. **Cambios en la tasa de flujo regular y la carga de masa regular de DBO durante un día típico**



Fuente: MIHELIC, James R.; BETH, Julio. *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño*. p. 469.

La homogeneización del flujo se puede lograr de dos maneras: homogeneización en línea o fuera de línea. La homogeneización en línea es el proceso en el que todo el flujo pasa a través de la cuenca de ecualización. En contraste, con la homogeneización fuera de línea, solo una porción del flujo es desviada a través de la cuenca de ecualización. La ecualización de flujo fuera de línea requiere que el flujo desviado sea bombeado y mezclado con el afluente de la planta cuando la tasa de flujo afluente hacia la planta se reduce. El flujo se puede ecualizar, pero el cambio en la carga de DBO es reducido menos que con la ecualización de flujo en línea. Por lo tanto, la ecualización en línea es típicamente utilizada cuando se requiere humedecimiento astringente del flujo y de la carga orgánica.

- Localización de las instalaciones de homogeneización

La ubicación óptima de las instalaciones de homogeneización debe determinarse para cada caso concreto. Dado que la localización óptima variará en función del tipo de tratamiento, de las características de la red de alcantarillado y de las aguas residuales. Probablemente la localización más indicada continuará siendo en las plantas de tratamiento existentes o en fase de proyectos.

En ocasiones puede resultar más interesante situar la homogeneización después del tratamiento primario y antes del biológico; de esta manera, se reducen los problemas originados por el fango y la espuma. Si las instalaciones de homogeneización se sitúan por delante de la sedimentación de sólidos y las variaciones de concentración y dispositivos de aireación suficientes para evitar los problemas de malos olores.

2.4.2. Tratamiento primario

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas como el tamizado y la sedimentación.

Los sistemas de tratamiento primario son procesos de tipo físico y/o químicos. Los procesos de tipo físico son aplicados a vertidos líquidos con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica; no biodegradable y/o insoluble (en suspensión); mientras que los procesos químicos son usados para la eliminación de sustancias solubles, empleando para esto agentes químicos como floculantes y coagulantes, que mejoran la separación de partículas.

El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. Conforme pasa el tiempo las plantas de tratamiento que solo incluyen tratamiento primario irán quedando fuera, debido a la necesidad de disponer de tratamientos secundarios.

Los tratamientos fisicoquímicos actúan sobre la base de la coagulación y floculación; el efluente debe ser asistido por agentes coagulantes, que son adicionados para neutralizar cargas en el sistema; mientras que la floculación se realiza con polímeros orgánicos que se adsorben y actúan como puentes entre las partículas, con la finalidad de aumentar el coágulo formado y de este modo, mejorar la velocidad de precipitación de los sólidos contenidos en los efluentes.

Tabla II. **Procesos físicos en el tratamiento primario**

Procesos físicos	Objetivos
Desbaste	Remoción de sólidos gruesos (Rejas, cribas o tamices)
Desarenado	Separación de partículas pequeñas de alta densidad
Sedimentación	Remoción de sólidos en suspensión entre 1 mm -1 m
Flotación	Remoción de grasas y aceites (arrastre por burbujas de aire)

Fuente: MORATÓ, Jordi. *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. p. 34.

Tabla III. **Procesos químicos en el tratamiento primario.**

Procesos químicos	Objetivos
Coagulación/floculación	Mejora la sedimentación de partículas en suspensión de sistemas coloidales, alterando las propiedades fisicoquímicas de las partículas, acelerando su decantación. Remoción de sólidos gruesos (rejas, cribas o tamices).

Fuente: MORATÓ, Jordi. *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. p. 38.

2.4.2.1. Sedimentación

Su función es remover los sólidos suspendidos de las aguas residuales. Dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión, el proceso puede considerarse en tres clasificaciones básicas: discreta, floculante y sedimentación por zonas.

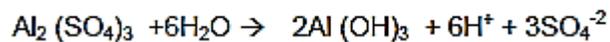
En la sedimentación discreta, las partículas mantienen su individualidad y no cambian en tamaño, forma o densidad durante el proceso. La sedimentación discreta se observa en arenas, cenizas, entre otros. La sedimentación de floculantes ocurre cuando las partículas se aglomeran y resulta un cambio de tamaño y velocidad de sedimentación. La zona de sedimentación involucra una suspensión floculada, que forma una estructura enrejada, se sedimenta como una masa, y exhibe una interface distinta durante el proceso. Flóculos de alúmina y lodos activados es común que muestren zonas de sedimentación

2.4.2.2. Coagulación

La coagulación y floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa. En la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas; llamadas floculos tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales, esto altera las características superficiales de los sólidos, en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan.

Ocurre una desestabilización de las partículas suspendidas, de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. La carga de las partículas

coloidales, se produce por la ionización de grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos o sulfatos, los cuales pueden estar presentes en la superficie de los coloides. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes, lo que genera la posterior precipitación. Así la “desestabilización de los sistemas coloidales, se ve mejor bajo el punto de vista químico. Entre los coagulantes, el más usado es el sulfato de aluminio (o alumbre). Esta sustancia presenta la siguiente reacción:



Esta reacción va disminuyendo su pH a medida que la reacción, se lleva a cabo hasta un punto, en que se detiene. Si el agua contiene bicarbonatos, el pH puede mantenerse relativamente constante, ya que estos actúan como amortiguadores. El CO₂ puede producir corrosión y, por lo tanto, suele neutralizarse con cal. La reacción origina endurecimiento del agua, según los requerimientos podría ser posteriormente tratado este asunto. Para producir la coagulación el agua requiere de cierta alcalinidad natural.

Si esta alcalinidad no se posee, se debe agregar algún tipo de sustancia, que la asegure como es el CaO, Ca(OH)₂, NaOH o NaCO₃. Existe un pH óptimo de coagulación según el tipo de agua. Este punto se tendrá en el punto isoeléctrico, donde el potencial zeta es mínimo. En dicho punto también, se cumple que el gasto de coagulante es mínimo.

Existen diversos coagulantes que se pueden utilizar en el proceso de coagulación, los cuales se listan a continuación:

- Sulfato de aluminio (Al₂ (SO₄)₃)
- Cloruro férrico (FeCl₃)

- Sulfato de hierro ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3$)
- Cloruro de aluminio polimerizado (AlCl_3)

Entre los agentes floculantes orgánicos, pueden utilizarse: polímeros cargados derivados de celulosa, poliamidas, almidones cuaternarios, quitosan, taninos condensados.

2.4.2.3. Floculación

La floculación es el proceso mediante el cual, las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, agrandando los *flocs* de modo de facilitar la precipitación. La floculación puede presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinéctica, según sea el tamaño de las partículas desestabilizadas (en general todas las partículas se ven afectadas por ambos mecanismos).

Las partículas pequeñas ($<1\mu\text{m}$) están sometidas a floculación pericinéctica, motivada por el movimiento *browniano*, mientras que las que presentan un tamaño mayor, están afectadas principalmente por el gradiente de velocidad del líquido, predominando en ella la floculación ortocinética.

La floculación se lleva a cabo, mediante la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del tratamiento de aguas servidas domésticas e industriales. La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los floculos más grandes, que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

2.4.3. Tratamiento secundario

El agua residual que sale del tratamiento primario ha perdido una cantidad significativa de la materia de partículas, pero aún tiene una alta demanda de oxígeno debido a una abundancia de materia orgánica disuelta (medida como DBO). El tratamiento secundario (el cual es una forma de tratamiento biológico) utiliza microorganismos para descomponer estas moléculas de alta energía.

Los sistemas biológicos pueden clasificarse en:

- Sistemas con biomasa suspendida (SBS)
- Sistemas con biomasa fija (SBF)

Las ventajas de los sistemas de biomasa fija o sistemas en que los microorganismos forman biopelículas o *biofilm*, es que estos son más robustos en su operación, ocupan menores superficies de instalación y son capaces de tratar elevadas cargas de materia orgánica con elevadas eficiencias de eliminación. El tratamiento secundario puede ser de naturaleza aeróbica o anaeróbica.

- Procesos de biodigestión

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado.

La población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de

oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos.

2.4.3.1. Digestión aeróbica

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. Los costos del tratamiento por la cantidad adicional de energía necesaria para el suministro de aire al proceso. En contraste, los procesos de digestión anaeróbica permiten utilizar el metano generado como fuente de energía. La principal ventaja del proceso aeróbico es la simplificación en las operaciones de disposición de los lodos comparada con la relativa complejidad operativa del proceso de digestión anaeróbica.

La digestión aeróbica es un proceso mediante el cual los lodos son sometidos a una aireación prolongada en un tanque separado y descubierto. El proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la autooxidación de la materia celular. En las primeras fases del proceso de digestión aeróbica, cuando una población de microorganismos se pone en contacto con una fuente ilimitada de sustrato, los microorganismos se reproducen con una tasa de crecimiento poblacional logarítmico que sólo está limitada por su propia habilidad de reproducirse.

La tasa de consumo de oxígeno aumenta rápidamente debido a la absorción y asimilación de materia orgánica para la síntesis de nueva masa protoplasmática.

A medida que progresa la oxidación de la materia orgánica disponible, la tasa de crecimiento bacteriano empieza a disminuir. Las fuentes de carbono orgánico disponibles se hacen limitantes, y, por consiguiente, también se presenta una disminución en la tasa de consumo de oxígeno.

Cuando la cantidad de materia orgánica disponible es apenas suficiente para garantizar la subsistencia de las distintas especies de microorganismos, éstos comienzan a auto oxidarse mediante su metabolismo endógeno. La digestión aeróbica presenta diversas ventajas dentro de las cuales destacan la facilidad de operación del sistema, bajo capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica, no genera olores molestos, produce un sobrenadante clarificado con una baja DBO5, con pocos sólidos y poco fósforo.

El proceso presenta también sus desventajas, entre las que se suelen mencionar los altos costos de operación causados por los altos consumos de energía, la falta de parámetros y criterios claros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío.

2.4.3.2. Digestión anaeróbica

“La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores. En la digestión anaerobia más del 90 % de la energía disponible por oxidación directa se

transforma en metano, consumiéndose sólo un 10 % de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50 % consumido en un sistema aeróbico.”¹

Los microorganismos metanogénicos desempeñan función de enzimas respiratorios y al lado de bacterias no metanogénicas, forman una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que sale del sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que complican su manejo y utilización. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad.

Tabla IV. **Valores de PH óptimos para efluentes que ingresan a tratamiento anaerobio**

Grupo bacteriano	pH óptimo
Acidogénicos	5,5 y 6,5
Metanogénicos	7,8 y 8,2
Mixtos	6,8 y 7

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de tratamiento de aguas residuales*. p. 43.

¹ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Manual del biogás*. p. 14.

Tabla V. **Valores de temperatura y tiempos de digestión en tratamiento anaerobio**

Temperatura °C	10	15,6	21,1	26,7	32,2	37,8	43	49	54	60
Periodo de digestión (días)	75	56	42	30	25	24	26	16	14	18
Tipo de Digestión	Mesofílica						Termofílica			

Fuente: Metcalf & Eddy. *Ingeniería de tratamiento de aguas residuales*. p. 43.

2.4.3.3. Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica

“Este título se designa al volumen de sustrato orgánico ingresado diariamente al digestor. “Este valor tiene relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor”²

Las bacterias necesitan un intervalo de tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación es dependiente de la temperatura; mientras aumenta la temperatura, disminuye el tiempo de retención.

En un digestor que opera a régimen estacionario o discontinuo, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga. En un sistema de carga diaria el tiempo de retención va a determinar el volumen

² Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Manual del biogás*. p. 41.

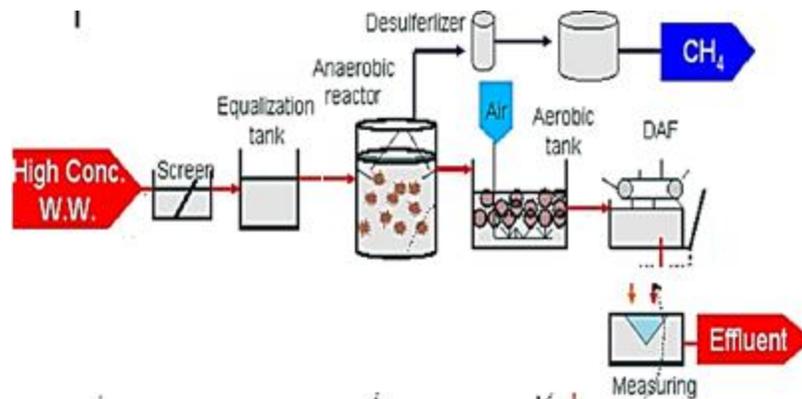
diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación:

Volumen del digestor (m³) = volumen de carga diaria m³/día/ tiempo de retención (días)

2.5. Tratamiento de aguas residuales propuesto para la industria cárnica

A continuación, se muestra el sistema de mantenimiento para la industria de alimentos.

Figura 5. Sistema de tratamiento para una industria de alimentos propuesto por el ministerio de ambiente de Japón



Fuente: Overseas Environmental Cooperation Center, Japan. *Treatment of industrial wastewater, January 2003.* p. 201.

El sistema es propuesto para altas cargas orgánicas DBO de 2300 mg/l, alta cantidad de sólidos suspendidos alrededor de 500 mg/l y cantidad de grasas y aceites de 150 mg/l.

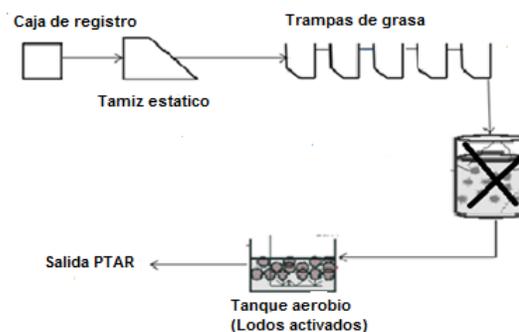
Está compuesto por:

- Cribado
- Tanque ecualizador
- Reactor anaerobio
- Reactor aerobio (sistema de aireación)
- Y un tratamiento de clarificación de las aguas
- Desulfuración para obtención de metano

2.6. Caso de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria de embutidos

A continuación, se muestra el diagrama de planta de tratamiento en estudio.

Figura 6. Diagrama planta de tratamiento en estudio



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Planta de tratamiento en estudio**

- La flecha negra indica la dirección del flujo de agua antes de operar el sistema aerobio



Fuente: elaboración propia.

2.6.1. Tamiz estático (pretratamiento)

Es un filtro usado para la separar material sólido en plantas de tratamiento de aguas residuales. Este regularmente se instala como pre tratamiento en aguas industriales, con luces que van de 0,5 a 1 mm, para eliminar los gruesos en industrias papeleras, textiles, de curtidos, conserveras, mataderos, lácteas. El tamiz estático también se emplea como tratamiento primario en aguas urbanas, con luces de malla de 1 a 1,5 mm.

Figura 8. **Tamiz estático autolimpiante**



Fuente: elaboración propia.

2.6.2. Trampas de grasa (pretratamiento)

Las trampas de grasa son pequeños depósitos donde los aceites y las grasas, con una densidad inferior a la del agua, se mantienen en la superficie del tanque para ser fácilmente retenidos y retirados se rigen bajo el principio de flotación natural.

Estas unidades de tratamiento son diseñadas en función de la velocidad de flujo del fluido y el tiempo de retención hidráulica (TRH); es un diseño sencillo, todo dispositivo que ofrezca una superficie tranquila, con entradas y salidas sumergidas actúa como separador de grasas y aceites.

Para que el diseño de una trampa sea eficaz debe tener un volumen adecuado garantizando así un tiempo de permanencia de las aguas dentro de la trampa, lo que logra una separación efectiva de las grasas y los residuos sólidos.

Una trampa puede retener por sedimentación los sólidos en suspensión y por flotación, el material graso.

Actualmente las grasas, los aceites y los lubricantes regularmente material generado en restaurantes para evitar que sean parte de la corriente de aguas residuales pueden fácilmente convertirse en biodiesel y utilizarse para generar energía, cuando se combinan con gas digestor, o utilizados como un combustible suplementario en las plantas de desecho solido a energía.

Figura 9. **Fotografía de trampas de grasa en serie instaladas**



Fuente: elaboración propia.

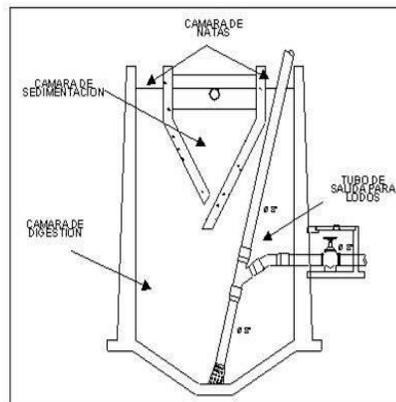
2.6.3. Tanque imhoff

Son tanques de digestión caracterizados porque en una unidad estructural se ha refundido el estanque de sedimentación primario sobre una cámara de digestión. Las aguas servidas escurren por la cámara superior y las partículas sedimentables pasan entre las dos cámaras hasta la final o de digestión. El fondo tiene una abertura por donde se extraen los lodos y los gases escapan al aire por las chimeneas de ventilación.

Tienen como ventaja estos sistemas de tratamiento su bajo costo de operación y mantenimiento siendo su desventaja, su alto costo de construcción, ya que los volúmenes que debe albergar son altos en virtud a que la cámara de

digestión al no poder ser calentada, debe manejar largos tiempos de retención. Generalmente no se alcanza a cubrir la región de espuma de flotación, por lo que no se puede recolectar el gas de la digestión.

Figura 10. **Diagrama de un tanque Imhoff**



Fuente: elaboración propia.

2.6.4. **Lodos activados**

Un proceso de lodos activados, no es otra cosa que un tratamiento biológico que consiste básicamente en: la agitación y aireación de una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos seleccionados.

El uso de microorganismos, es para oxidar la materia orgánica presente en el agua de desecho y transformarla a una forma más estable, disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante. Para llevar a cabo lo anterior, los microorganismos requieren de un medio adecuado que les proporcione oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo.

Bajo estas condiciones dichos microorganismos se multiplican rápidamente formando la llamada biomasa, que oxida los diferentes tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales y completan de esta forma el tratamiento biológico.

En una planta convencional de lodo activado, las aguas negras o de desecho pasan primero por un tanque de sedimentación primaria. Luego, se añade lodo activado (biomasa) al efluente del tanque, generalmente en la relación de 1 parte de lodo por 3 o 4 partes de aguas negras decantadas, en volumen, y la mezcla pasa a un tanque de aireación. Ya en el tanque, el aire atmosférico se mezcla con el líquido por agitación mecánica o se difunde aire comprimido dentro del fluido mediante diversos dispositivos: generalmente se utiliza difusores pero también se usan placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores y chorros.

Con cualquiera de los métodos, se pone a las aguas negras en íntimo contacto con los microorganismos contenidos en el lodo. En los primeros 15 a 45 minutos, el lodo absorbe los sólidos en suspensión y los coloides. Según se absorbe la materia orgánica, tiene lugar la oxidación biológica. Los organismos presentes en el lodo descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos. El proceso avanza rápidamente al principio y luego decae gradualmente en las próximas 2 a 5 horas. Después continúa con un ritmo casi uniforme durante varias horas. En general el periodo de aireación dura de 6 a 8 horas más.

Figura 11. **Diagrama de un sistema de lodos activados**



Fuente: *Diagrama de un sistema de lodos activados*. <https://www.taersa.com/tecnologias-procesos/tratamiento-de-efluentes>. Consulta: 18 de septiembre de 2018.

2.7. 27 Acuerdo Gubernativo 236-2006

El Acuerdo Gubernativo 236-2006, *reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, requiere la caracterización del efluente de agua residual para determinar las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, de los parámetros requeridos en el reglamento. Dichos parámetros son variables que indican las características de las aguas residuales. Se da un valor numérico o rango para el cual las descargas y reuso es aceptable.

2.7.1. Temperatura

Las aguas residuales industriales tienden a presentar comúnmente temperaturas superiores a la de los cursos de agua.

La mayoría de los procesos biológicos se aceleran cuando la temperatura se incrementa y se desaceleran cuando la temperatura disminuye, la tasa de utilización de oxígeno es afectada por la temperatura.

La temperatura es un valor que debe regularse desde el mismo sistema de tratamiento en el caso de los sistemas que requieren procesos biológicos.

2.7.2. Potencial de hidrógeno

Las aguas residuales deben tener valores de pH entre 6 y 9 para que provoquen un mínimo impacto ambiental. Las aguas residuales con valores de pH inferiores a 6 tenderán a ser corrosivas debido al exceso de iones hidrógeno. Las aguas que presentan un pH superior a 9 tenderán a ser incrustantes.

Necesitan ser controladas a través del proceso de tratamiento debido a que los cambios drásticos en el pH, no son tolerados por la mayoría de microorganismos.

Valores fuera del rango pueden afectar a los microorganismos en el sistema de tratamiento y la vida acuática de los cuerpos receptores.

2.7.3. Sólidos suspendidos totales

La presencia de sólidos en las aguas residuales provocan aumento en la turbidez, esto se traduce en una menor penetración de luz en las aguas y como consecuencia afecta el proceso biológico de la fotosíntesis. Pueden afectar la capacidad visual de los peces, también tapan sus branquias y afectan su crecimiento.

En la operación de plantas de tratamiento es importante determinar la cantidad de sólidos suspendidos en línea tanto en la zona de aireación, como en la zona de salida de la planta. Para determinar los sólidos suspendidos se

utiliza el método gravimétrico: la metodología consiste en tomar la muestra, filtrar, secar y pesar, este proceso no es inmediato complicando el proceso de obtener datos instantáneos. Por este caso se utilizan métodos indirectos como la turbidez por medio de la utilización de un turbidímetro.

En este se mide la luz dispersada por las partículas en el líquido; de manera general cuanto mayor es la concentración de SST por mg /ml en una muestra de agua, mayor es su turbidez, por lo que este parámetro es una medida orientativa de la carga de sólidos presentes en un determinado fluido.

2.7.4. Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días, a veinte grados Celsius

La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.

La DBO es la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos para llevar a cabo la reducción de la materia orgánica.

La expresión general para determinar la carga contaminante es la siguiente:

$$(\text{Concentración}) \times (\text{caudal}) = \text{carga Kg/l} \times \text{l/d} = \text{Kg/d}$$

2.7.5. Demanda química de oxígeno

La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

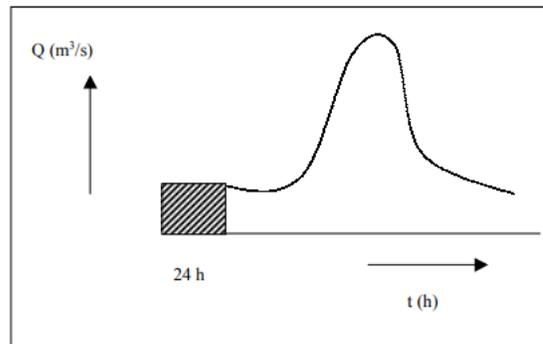
Parte de los materiales orgánicos no se pueden degradar biológicamente porque resultan ser tóxicos a los microorganismos o porque su reducción llega a ser tan lenta que son considerados como no biodegradables.

Una estimación cuantitativa de biodegradabilidad de se determina por la relación de DBO a DQO. De este índice se tiene una referencia acerca de la biodegradabilidad de un efluente determinado. Estableciendo que, cuando: $(DQO/DBO5) < 2,5$ se trata de un efluente o compuesto biodegradable, permitiendo utilizar sistemas biológicos y cuando $DQO/DBO5 > 2,5$ se debe elegir otras alternativas.

- Caudal medio diario

Tasa promedio de descarga para un periodo diario de operación. Registrando continuamente los niveles en el tiempo se puede obtener la hidrógrafa en la que el área sombreada representa un volumen de agua diario.

Figura 12. **Caudal promedio diario**



Fuente: elaboración propia.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables de control

VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES Y SU INTERRELACIÓN EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS PRIORIZADOS DEL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006 EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA INDUSTRIA DE EMBUTIDOS.

Tabla VI. **Variables dependientes e independientes**

Variable		Descripción
Características del agua	Independiente	Parámetros físicoquímicos priorizados del Acuerdo Gubernativo 236-2006
Evaluación de calidad del agua	Dependiente	Resultados de análisis

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Variables e indicadores**

Variables	Dependiente	Independiente	M	NM
pH		x	x	
Temperatura (°C)		x	x	
Material flotante (visual)		x	x	
Turbidez (NTU)		x	x	
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)		x	x	
Demanda química de oxígeno (mg/l)		x	x	
Caudal (m ³ /día)		x	x	
La variable dependiente corresponde al cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 M = variables monitoreadas NM = variables no monitoreadas				

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

A continuación, se muestra la delimitación de campo de estudio.

3.2.1. Campo de estudio

Evaluación de parámetros fisicoquímicos priorizados en la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria de embutidos.

3.2.2. Procesos que conforman la investigación

La investigación se dividió en varias etapas:

- Obtención de la materia prima (efluente de aguas residuales).
- Captación de muestras en puntos de muestreo, muestreo diario horario productivo (primera fase).
- Toma datos *in situ* y análisis de muestras en laboratorio.
- Captación de muestras en puntos de muestreo, muestreo diario horario productivo (segunda fase).
- Toma datos *in situ* y análisis de muestras en laboratorio.

3.2.3. Material de control de la investigación

La investigación consistió en monitorear el comportamiento de parámetros fisicoquímicos priorizados y determinar si el desempeño de la planta de tratamiento se ve potenciado por la implementación de un sistema de tratamiento aerobio posterior al pretratamiento y proponer las mejoras.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Hugo Edíño Chub Ac estudiante de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Nacionalidad: guatemalteco.
- Asesor: Ing. Jorge Mario Estrada Asturias profesional de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, colegiado Núm. 685.

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación, se muestran los recursos materiales disponibles.

3.4.1. Equipo

- pH metro- termómetro portátil.Hanna combo PH & ec Waterproof
- Reloj (cronómetro)
- Turbidímetro HACH 2100P

3.4.2. Cristalería

- 2 conos Imhoff de 1L
- 8 *beacker* de 100 ml
- Envases plásticos de 250 ml

3.4.3. Otros

- Hielera
- Guantes para toma de muestras
- Cinta métrica
- Cámara digital
- Mascarilla
- Casco
- Botas

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Se tomaron muestras del agua residual cada hora durante 6 semanas. Para evaluar los parámetros físicos y químicos de las variables en estudio, se obtuvieron valores medibles, se tomaron datos *in situ* y también en laboratorio. Para realizar a nivel macro la evaluación del comportamiento.

A partir de la tercera semana se tuvo las mismas características de muestreo de parámetros priorizados, adicionando que además de ello un día de cada semana se tomaron muestras compuestas para análisis de DBO, DQO a la entrada y salida de la planta, para aceites y grasas a la entrada de la planta y salida de trampas de grasa. Los análisis de laboratorio de DBO, DQO y aceites/grasas se realizaron por el laboratorio Ecoquimsa.

Se compararon los valores esperados de cada parámetro, con los valores establecidos por el reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006. Posterior a la comparación se propusieron procedimientos adecuados, para un tratamiento eficiente y de la misma forma factores que influyen en la calidad del efluente.

Según las variables que se trataron en la investigación, la técnica a utilizar es cuantitativa. Obtener los parámetros fisicoquímicos óptimos, son variables cuantitativas ya que dependen de las distintas concentraciones de materia prima de entrada.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Los datos obtenidos en la investigación se recopilaron en cada una de las partes del proceso.

- Para la determinación de parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH y sólidos suspendidos; se tomaron 8 mediciones diarias, por triplicado, para ello se utilizaron *beackers* de 1L, fue necesario utilizar guantes como protección para evitar daños en la piel; el muestreo se realizó a un periodo de cada hora, las muestras fueron analizadas *in situ*. Se tomaron dos muestras diarias para análisis en conos imhoff a la entrada y salida de las trampas de grasa. Se muestran así las características del fluido en tratamiento a lo largo de las distintas etapas. Los parámetros de pH y temperatura se midieron a través de un medidor de temperatura y pH Hanna, se midió el parámetro de turbidez con un turbidímetro Hach 2100P Conociendo estos detalles en el presente estudio se tomó la relación 3 NTU equivalente a 1 mg/l.

- Las muestras enviadas al laboratorio, fueron muestras compuestas de un día de operación de la planta, se tomaron en frascos de vidrio de 500 ml en el caso del análisis de DQO, en envases de plástico de 1/2 galón de DBO y en envases de vidrio de 1000 L para grasas y aceites, durante la recolección y el transporte de muestras, las mismas se almacenaron en una hielera a 5 °C para mantenerlas estables.
- En el proceso de medición de caudal, ante la ausencia de medidores de flujo instalados en la planta se utilizó un método sencillo el cual consistió en medir el diámetro de la tubería de ingreso, posterior a ello con un metro, se midió en distintos tiempos el nivel de agua; tomando en cuenta la longitud del ducto y el tiempo de tránsito por el mismo, luego con ayuda de cálculo integral se determinó el caudal medio diario.
- Para las pruebas con los conos Imhoff se tomaron 2 muestras diarias, y se dejó reposar por un tiempo de al menos 30 minutos, hasta el tiempo de retención suficiente para observar la separación, comparando la entrada y la salida.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información obtenida se ordenó haciendo uso de tablas para cada uno de los parámetros que conforman la investigación.

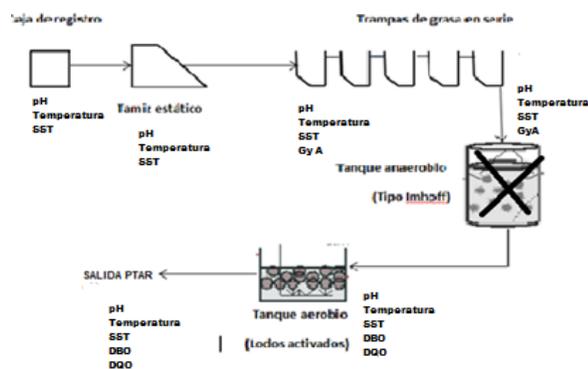
El software utilizado fue Microsoft Excel, ingresando todos los valores de temperatura, pH, turbidez, caudal, para cada una de las muestras analizadas. La información se agrupó y clasificó; con todos los valores ingresados se determinaron los resultados.

3.8. Tamaño del muestreo

Los efluentes líquidos atribuidos a la industria de embutidos provienen principalmente de los vertimientos del proceso de cocción, y de limpiezas en las áreas productivas, basándose en el estudio de Beatriz Adriana Valle Oliva de 2012 *Priorización de parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico (ciiu 1511)*. Se estableció la caracterización de manera teórica, es de principal enfoque los residuos generados por el proceso productivo; no se toma en consideración aquellos parámetros que se ven impactados en su mayoría por el proceso de limpieza siendo estos: N total y P total, estableciéndose los puntos críticos de muestreo según el flujo del proceso y las etapas de tratamiento del mismo.

Para una mayor confiabilidad en los resultados del experimento, se debe determinar el número de corridas adecuadas para disminuir los errores. Por lo cual se analizaron tres muestras de cada uno de los parámetros fisicoquímicos evaluados.

Figura 13. Diagrama planta de tratamiento en estudio



Fuente: elaboración propia.

3.9. Tabulación y ordenamiento de los datos

En cada una de las etapas que articulan la evaluación y muestreo, se registró y ordeno los datos para su posterior tratamiento. En las tablas se registró los datos importantes para estandarizar.

Tabla VIII. **Muestreo análisis de laboratorio**

Parámetro	Entrada planta de tratamiento	Salida trampas de grasa
Grasas y aceites		

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Muestreo DBO y DQO entrada de planta de tratamiento**

Entrada a tratamiento aerobio			
Parámetro	Semana 1	Semana 2	Semana 3
DBO			
DQO			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Muestreo DBO y DQO en salida de planta de tratamiento**

Salida tratamiento aerobio			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3
DBO			
DQO			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Muestreo en trampas de grasa**

Cliente:		Ingreso Trampas de frasa			Salida trampas de grasa		
Fecha	Hora	Tiempo de sedimentación	Cantidad de sedimento	Cantidad de flotante	Tiempo de sedimentación	Cantidad de sedimento	Cantidad de flotante

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Muestreo de parámetros fisicoquímicos en estaciones**

Cliente:			Ingreso PTAR			Salida filtro			Salida trampas de grasa			Salida tanque aerobio			Salida PTAR		
Fec ha	Ho ra	alt ura	T(° C)	p H	SST mg/L	T(° C)	p H	SST mg/L	T(° C)	p H	SST mg/L	T(° C)	p H	SST mg/L	T(° C)	p H	SST mg/L

Fuente: elaboración propia.

3.10. Análisis estadístico

Para fines de análisis estadístico, se llevó a cabo un estudio cuantitativo, ya que las operaciones aritméticas ordinarias, solo tienen sentido con los datos cuantitativos. Para la evaluación del sistema de tratamiento de aguas

residuales, se tomaron muestras compuestas del agua residual, se obtuvieron los resultados correspondientes de cada variable.

Para comprender e interpretar mejor la información, se contó con la ayuda de la estadística descriptiva y la inferencia estadística, como dos formas de convertir los datos, en información estadística, a partir de los datos obtenidos de los análisis fisicoquímicos.

3.10.1. Media aritmética

Para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde:

- \bar{X} : dato promedio de cada variable
- X_i : dato i, determinado para cada variable
- N : número de datos obtenidos en cada punto para cada variable

3.10.2. Desviación estándar

Para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

- S: corresponde a la variable estándar de la variable determinada
- \bar{X} : dato promedio de cada variable
- X_i : dato obtenido para cada variable en el punto i
- N: número de datos obtenidos de cada variable

3.10.3. Coeficiente de variación de Pearson

Indica la relación existente entre la desviación típica de una muestra y su media. para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} * 100\%$$

Donde:

- C_v : es el coeficiente de variación del parámetro determinado
- S: es la desviación estándar del parámetro
- \bar{X} : dato promedio de cada variable

3.10.4. Eficiencia en remoción

Para los parámetros en estudio, se calculó con la siguiente expresión:

$$\%Ef = \frac{p1 - p2}{p1} * 100\%$$

Donde:

- porcentaje ef: % de la eficiencia.
- P1: punto de entrada del efluente (donde se determina el valor del parámetro).
- P2: punto de salida del efluente (donde se determina el valor del parámetro).

3.10.5. Prueba de hipótesis para los parámetros en estudio

Para la prueba de hipótesis, se analizó la comparación de los datos obtenidos con los valores máximos permisibles, del reglamento Acuerdo Gubernativo 236-2006.

El objetivo de la investigación es evaluar y proponer mejoras, para el sistema de tratamiento de aguas residuales actual. Se desea que los valores de las variables en estudio, sean inferiores según lo especificado por el reglamento y, de esta manera, determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales.

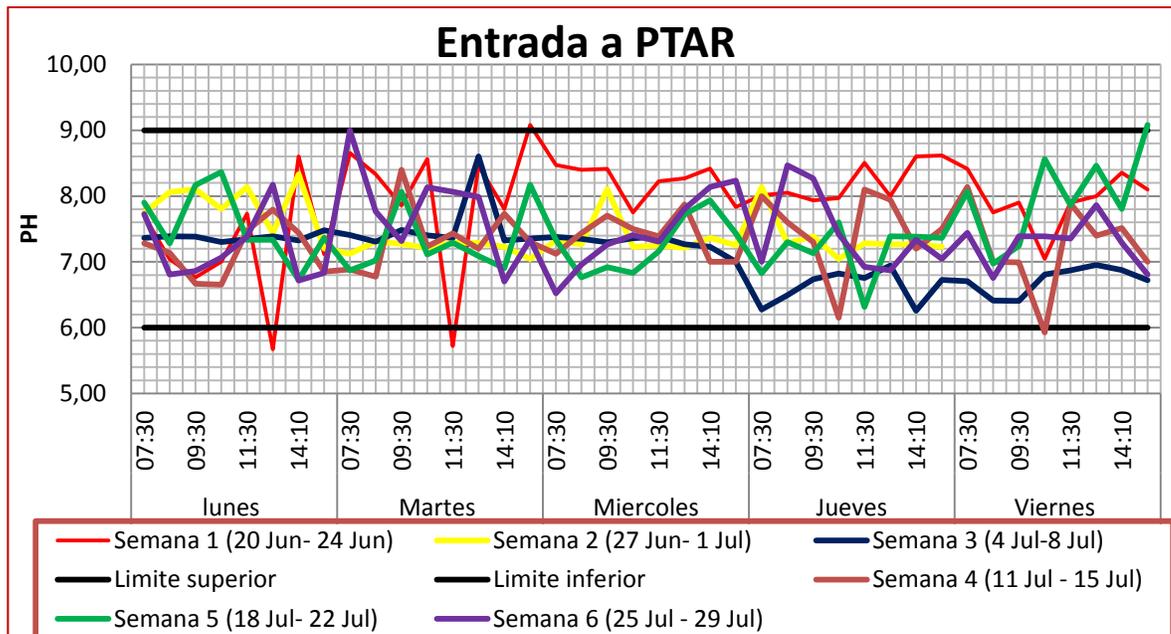
En toda situación en la que se desee probar la validez de una afirmación, la hipótesis nula se suele basar en la suposición de que la afirmación sea verdadera. Entonces, la hipótesis alternativa se formula de manera que rechazar H_0 proporcione la evidencia estadística de que la suposición establecida es incorrecta. Siempre que se rechace H_0 deberán considerarse las medidas necesarias para corregir la afirmación.

$$H_0: \mu \leq \mu_0$$

$$H_a = \mu > \mu_0 \text{ Rechazar } H_0$$

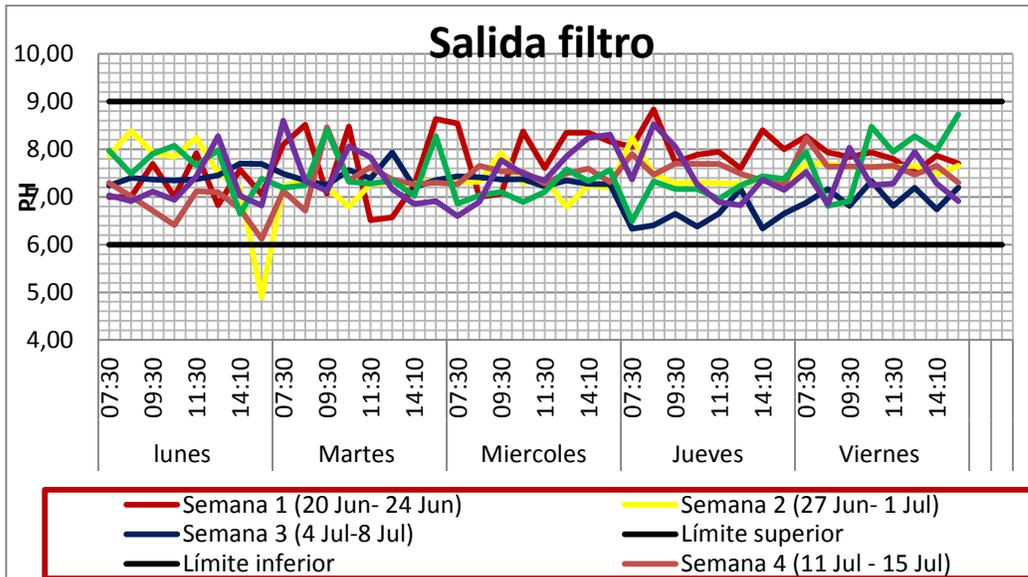
4. RESULTADOS

Figura 14. pH entrada de planta de tratamiento 2016



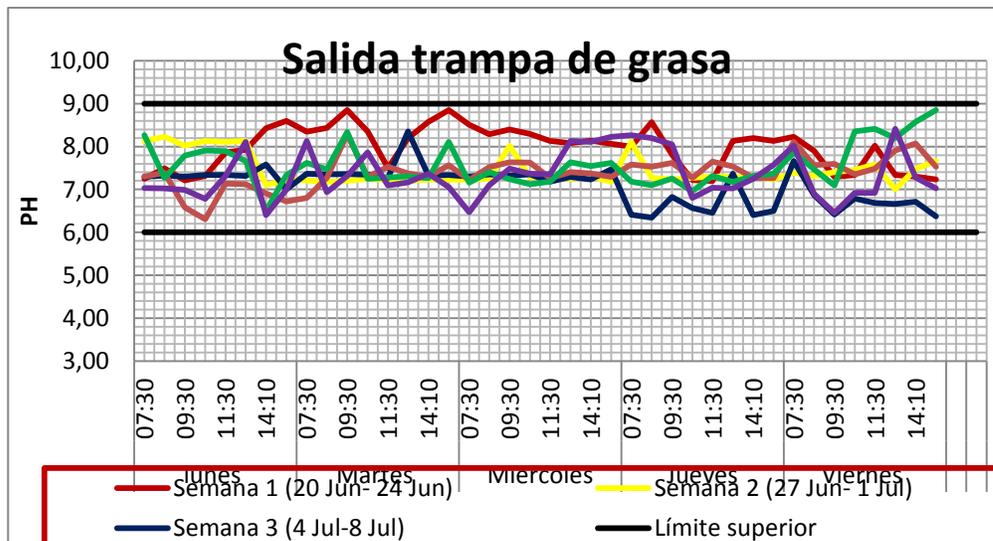
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. pH, salida de filtro 2016



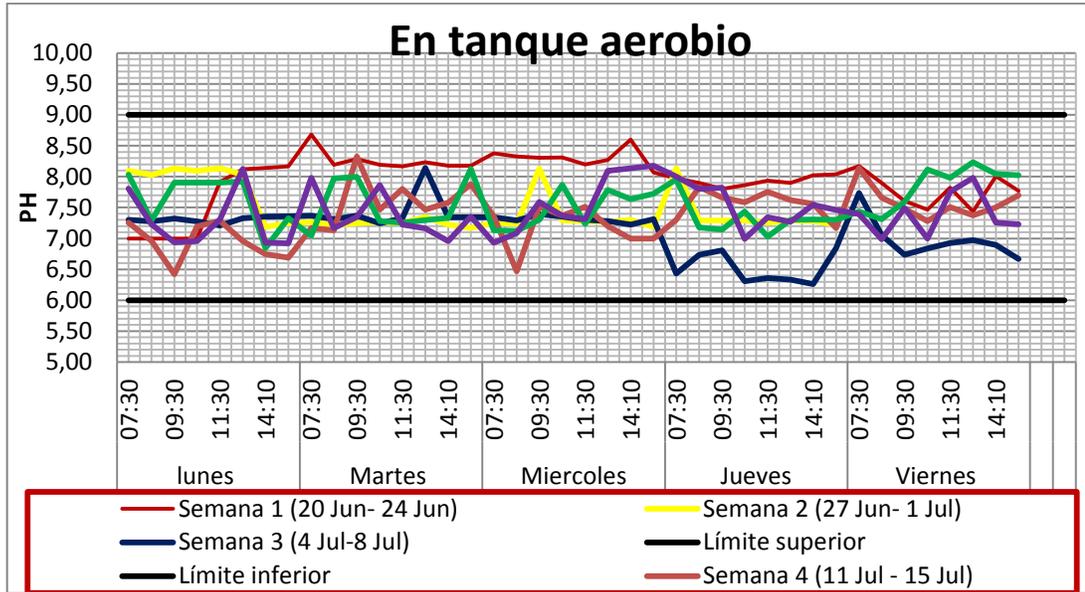
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. pH, salida de trampas de grasa 2016



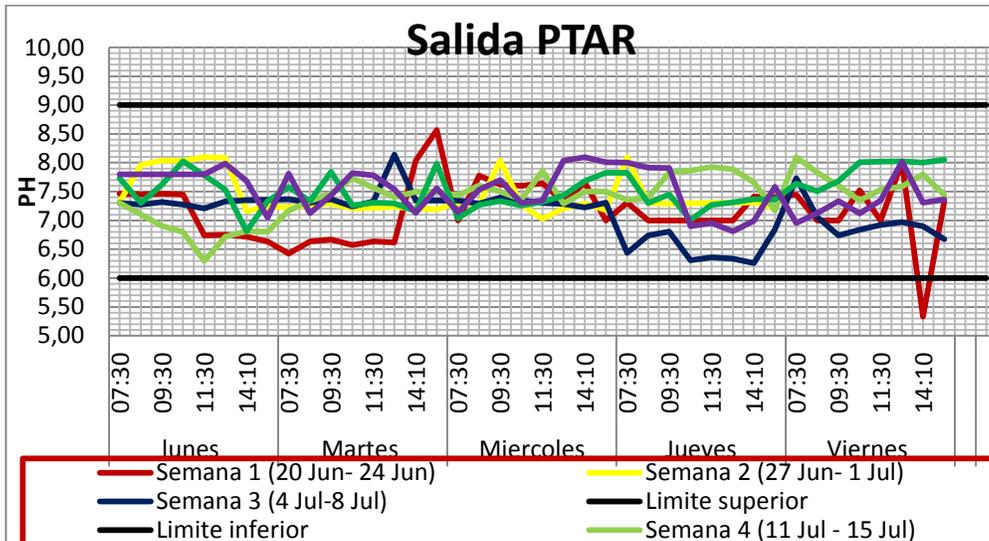
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. pH, tanque aerobio 2016



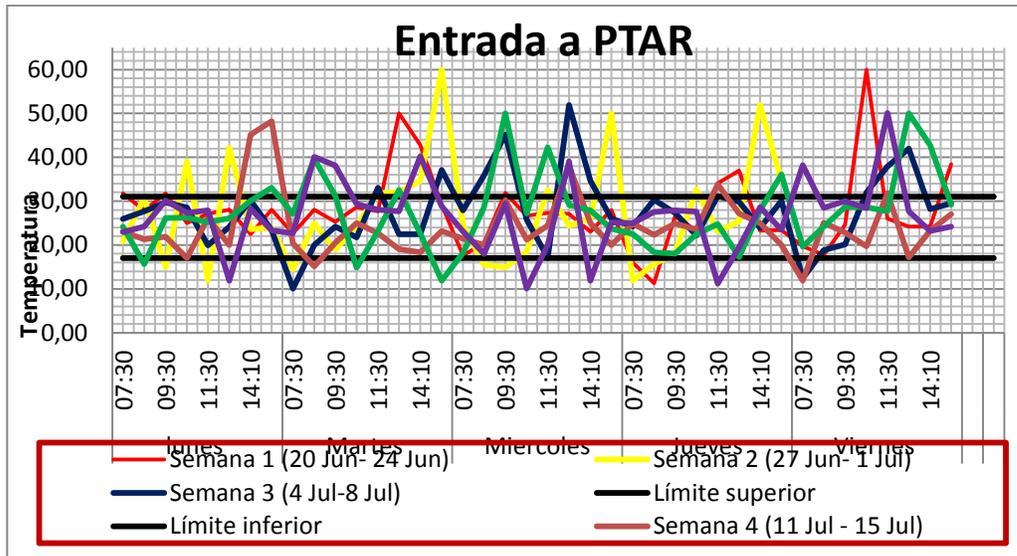
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. pH, salida de planta 2016



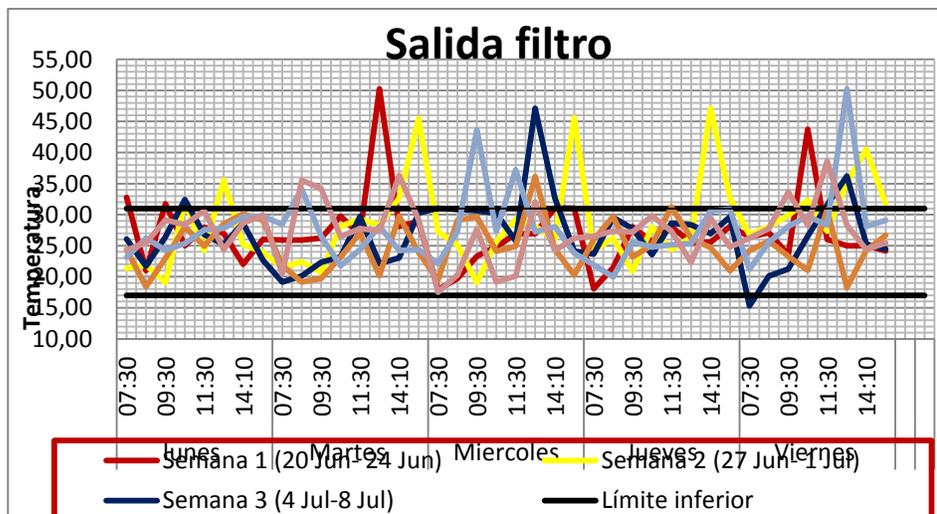
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Temperatura, entrada de planta de tratamiento 2016



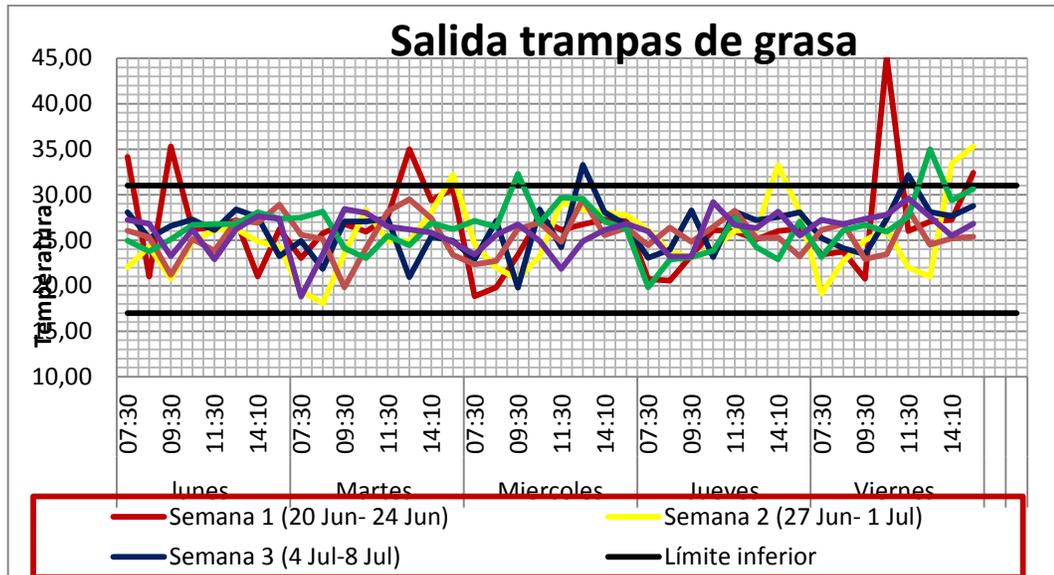
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Temperatura, salida de filtro 2016



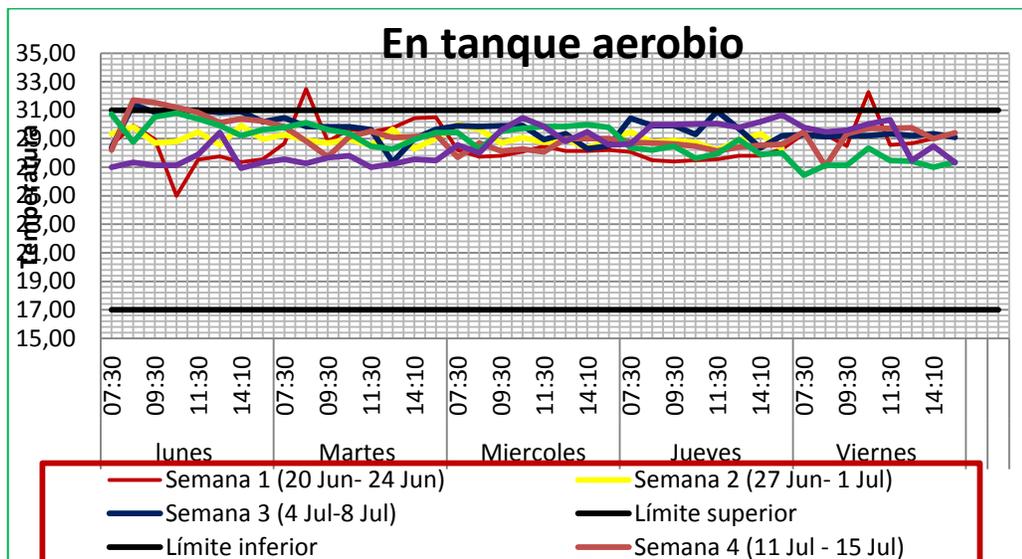
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Temperatura, salida de trampas de grasa 2016



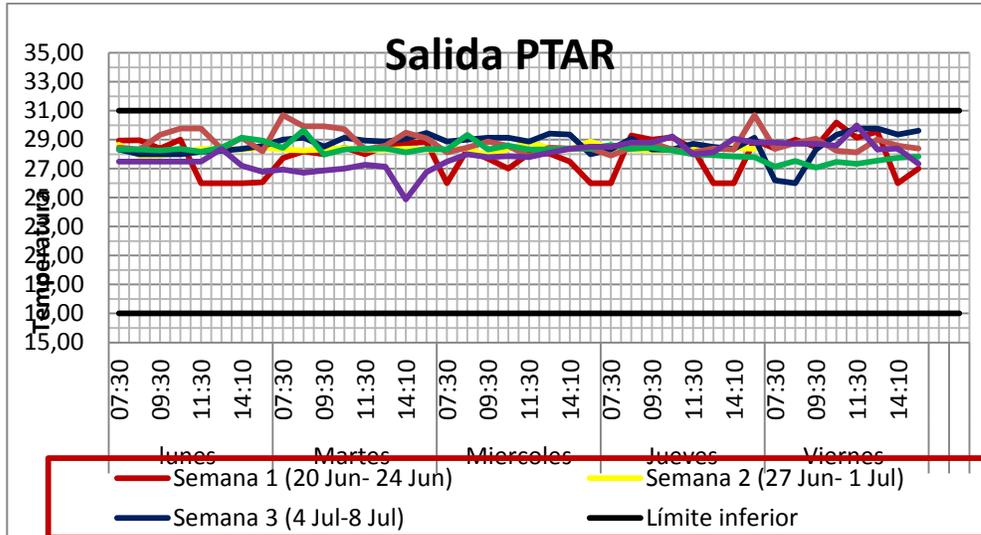
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Temperatura, tanque aerobio



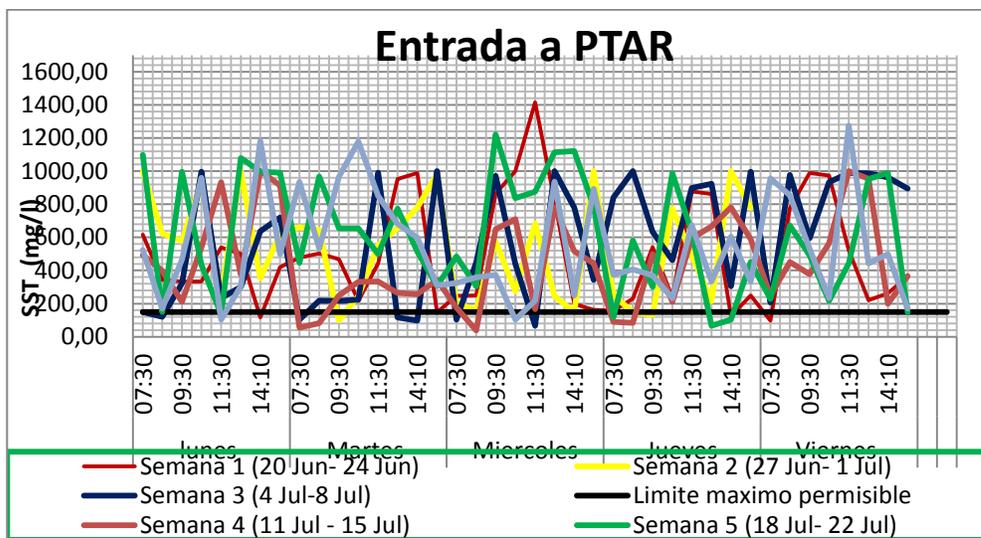
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Temperatura, salida de planta 2016



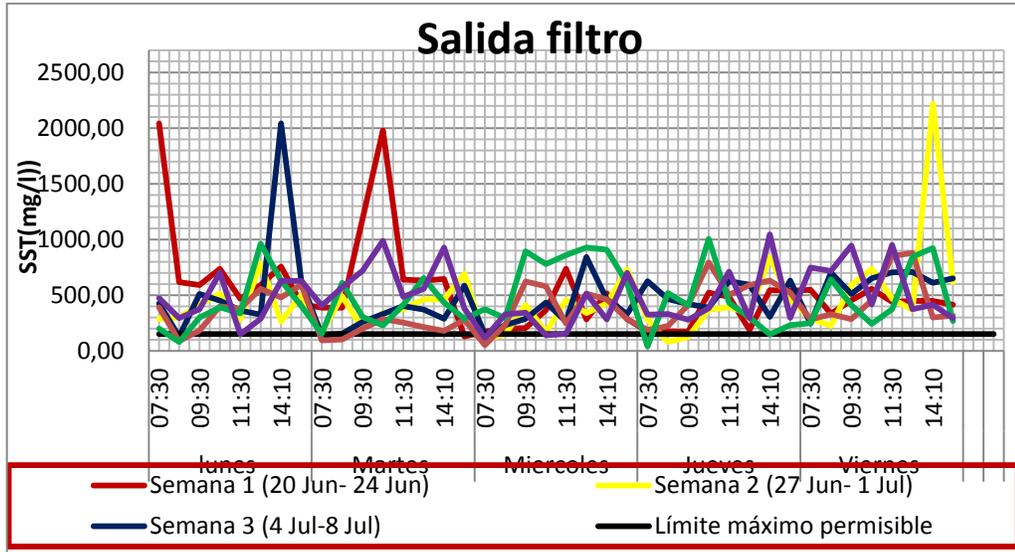
Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Sólidos suspendidos, entrada de planta de tratamiento 2016



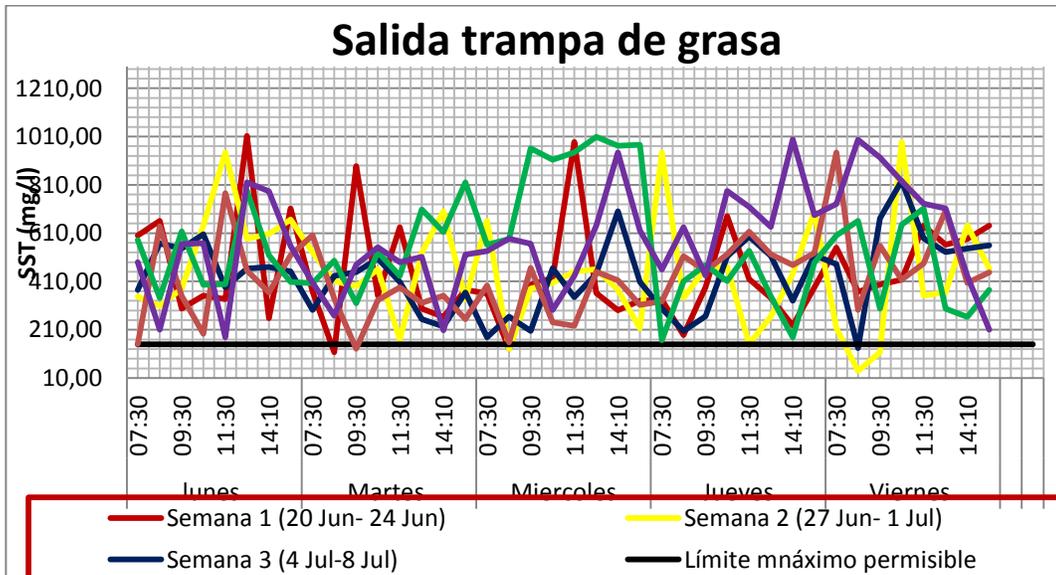
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Sólidos suspendidos, salida de filtro 2016**



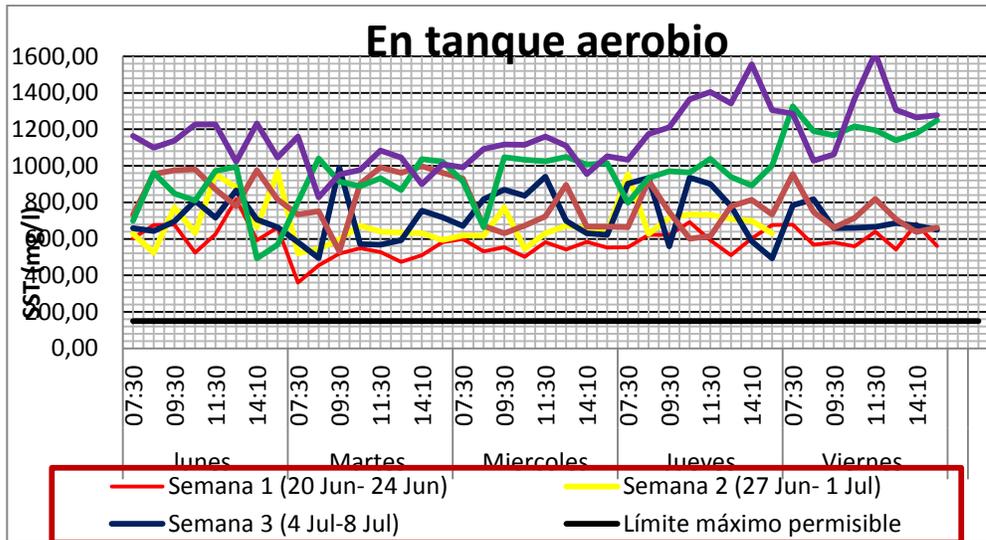
Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Sólidos suspendidos salida de trampas de grasa 2016**



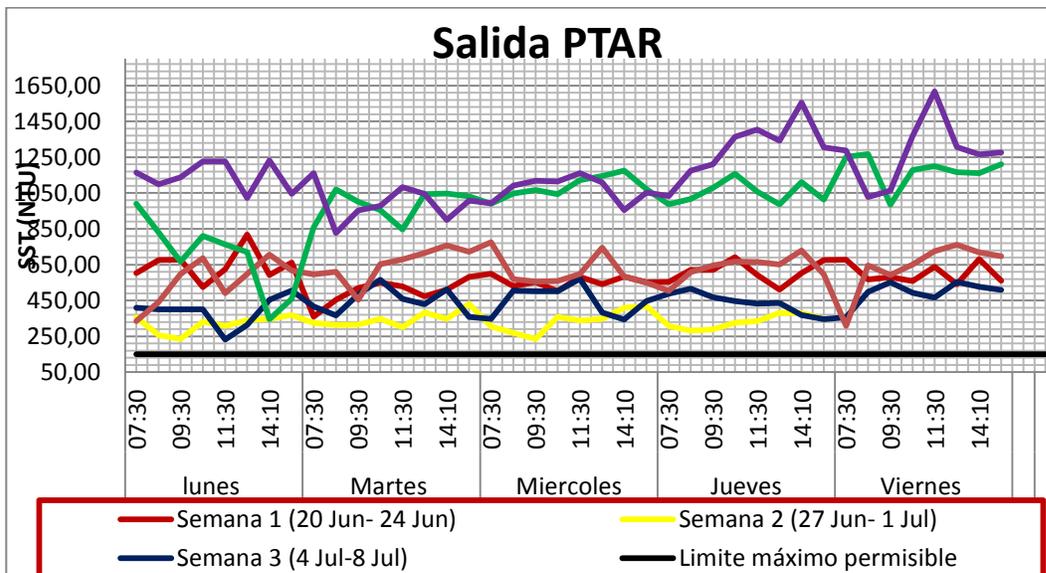
Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Sólidos suspendidos, tanque aerobio 2016**



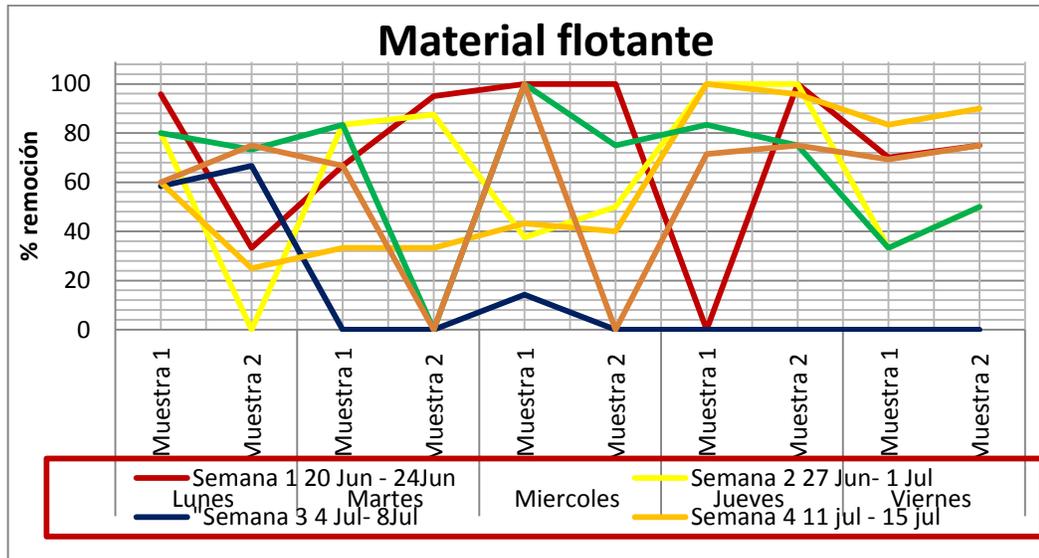
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Sólidos suspendidos, salida de planta 2016**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Porcentaje remoción material flotante**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Análisis, grasas y aceites**

Tiempo	Entrada	Salida	% remoción
Semana 3	3 525	101	97,13 %
Semana 4	13 480	9	99,93 %
Semana 5	4 000	24	99,4 %
Semana 6	6	13	No hay remoción

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Muestreo DBO y DQO en entrada y salida de planta de tratamiento**

Tiempo	Entrada		Salida		% remoción		Relación DQO/DBO
	DBO	DQO	DBO	DQO	DBO	DQO	
Semana 3	3 000	6 730	2 906	4 650	3,13%	30,90 %	1,60
Semana 4	28100	70 290	2 978	4 765	71 %	93,22 %	1,71
Semana 5	10 000	22 000	3 100	5 300	55 %	75,90 %	2,07
Semana 6	6 000	12 600	2 700	5 600	89,40 %	55,55 %	1,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Comparación respecto parámetros de acuerdo gubernativo 236-2006**

Parámetro	Salida tratamiento	Límite	Cumple/no cumple
Temperatura	28,3 °C	17-31 °C	Cumple
pH	7,35	6 a 9	Cumple
Sólidos suspendidos (mg/l)	648	150	No cumple
Material flotante	Presente	Ausente	No Cumple
DBO (kg/día)	36,90	3000 EG≤5000	Cumple
DQO (mg/l)	4 765	NA	NA
Grasas y aceites (mg/l)	14	25	Cumple

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se detallan los parámetros en el orden en que se presentan los resultados.

- pH

En la figura 13 durante las seis semanas se logra observar a la entrada de la planta de tratamiento valores variables que oscilan entre los límites permisibles teniendo en ocasiones valores en que tanto el límite superior como el inferior son sobrepasados. En la figura 14 a lo largo del tratamiento al pasar por la etapa del tamiz se observa una leve amortiguación de los valores, que sigue mejorando mientras sigue el flujo del proceso de tratamiento.

En la figura 17 se observa a la salida de trampas de grasa y a la salida de la planta de tratamiento. Un valor fuera de especificación en la mesa 1; la dilución a lo largo del proceso de tratamiento es un amortiguador de los valores de pH que deja a la salida una calidad de agua con valores de pH dentro de la especificación según Acuerdo Gubernativo 236-2006.

- Temperatura

En la figura 18 se observa que en el ingreso de la planta de tratamiento, aguas con valores de temperatura variables que van desde 60 °C la más alta hasta la más baja de 10 °C, cuando el agua se vierte a las temperaturas más altas las mismas corresponden a caudales altos, a su vez las características cualitativas del agua muestran grasas disueltas, y como consecuencia de los

caudales altos se produce una saturación del sistema de filtrado que requiere una limpieza inmediata para evitar desbordamientos.

A lo largo del tratamiento se observa en la figura 20 que los valores de temperatura van en descenso teniendo los valores más altos al salir de las trampas de grasa de 45 °C y un promedio máximo de 28 °C; la variabilidad de la temperatura saliendo de las trampas de grasa que anteceden al tratamiento aerobio genera una alimentación variable a esta etapa reduciendo su desempeño óptimo. El flujo del sistema continua amortiguando la temperatura, en este caso la homogeneidad de la misma empieza a marcarse al pasar por el tanque aerobio se observa en la figura 16 en el que oscila entre valores de 27 °C a 30 °C, manteniéndose este rango de variación hasta la salida de la planta de tratamiento donde la temperatura comparada es más homogénea según se observa en la figura 17.

- Grasas y aceites

En la tabla XIII se observa que la remoción de grasas y aceites evaluada por cuatro semanas de la entrada y la salida de trampas de grasa presenta un porcentaje constante de remoción de las mismas; sin embargo, aunque a la salida de las trampas el porcentaje de grasas y aceites es bajo se observó la acumulación de dichas grasas en el tanque aerobio; estas son transportadas por el sistema de bombeo instalado al final de las trampas de grasa para hacer circular las aguas hacia el tanque aerobio.

- DBO/DQO

La tabla XIV muestra que en la primera semana el porcentaje de remoción es considerable aunque a medida que avanzan las semanas el porcentaje de

remoción va en descenso lo que indica una falta de biodegradabilidad en el tratamiento. Se observó que esto está relacionado a su vez con los caudales altos y las temperaturas elevadas de gran variabilidad; estos representan el vehículo para que las grasas y aceites emulsionen con el agua, las cuales llegan al tanque aerobio.

Es imperativo mencionar que no existen parámetros permisibles en el acuerdo gubernativo para valores de DQO; sin embargo, la relación DQO/DBO obtenida indica que se tiene un efluente que aún es biodegradable, los valores de DBO en kg/día se encuentran dentro de especificación según el Acuerdo Gubernativo 236-2006; sin embargo, el valor de calidad a alcanzar asociado según el artículo 19 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, es de 200 mg/l.

- Sólidos suspendidos

Según se observa en la figura 23 los valores de sólidos suspendidos en la estrada de la planta de tratamiento presentan variaciones pronunciadas con valores máximos de 2 042 mg/l en las primeras 3 semanas y 37 mg/l como valor mínimo. Luego en la figura 24 se observa que al pasar por la etapa de tamizado, se reducen los parámetros a valores menores a los 1 000 mg/l exceptuando tres picos que sobrepasan este valor durante la primera semana. En la tabla XVI se observa que al salir del circuito de trampas de grasa existe un descenso en los valores de sólidos suspendidos en las primeras tres semanas con un promedio mínimo semanal de 619 mg/l y un promedio máximo semanal de 998,17 mg/l.

En la figura 26 se observa que en el tanque aerobio se obtuvo 788,51 mg/l como valor promedio semanal mínimo y 1 157 mg/l como promedio semanal máximo, al comparar estos valores con los promedios obtenidos a la salida de

las trampas de grasa se observa que estos tienden a ser mayores por lo cual hay un movimiento de sólidos de una fase a otra. En la tabla XVI se detalla que la descarga de efluente presenta valores promedio semanal mayores de la semana cuatro a la semana seis siendo estos mayores a los obtenidos en las primeras tres semanas, por lo que el tanque aerobio no opera de manera eficiente. De acuerdo en lo observado en el tanque debe mejorarse la calidad de la alimentación, su tiempo de retención y el sistema de distribución de aire.

- Material flotante

La figura 28 muestra la remoción de material flotante en las trampas de grasa las primeras tres semanas en promedio es de 74 % la serie de cinco trampas de grasa, permite mediante flotación la separación de material flotante por diferencias de densidad; sin embargo, se logró observar que al aumentar el caudal aumenta la concentración de las grasas y aceites a su vez éstas se emulsionan con el agua, y son arrastrados al tanque aerobio. En las últimas tres semanas se promedió la cantidad de material flotante con un valor de 64 % siendo este menos en las primeras semanas.

Se debe tomar en cuenta que a partir de la semana cuatro para trasladar el agua de la etapa de trampas de grasa hacia el tanque aerobio se implementó una bomba en la última trampa de grasa; esto sin duda agiliza el paso de agua de una planta a otra; sin embargo, acelera la velocidad de la misma en su paso por el sistema de pretratamiento, reduce el tiempo de retención y, por lo tanto, la remoción adecuada del material flotante. Integrado a los análisis en los conos imhoff, se determinó la presencia de sedimentos; en ambas fases se observa la existencia de acumulación de los mismos en el fondo de las trampas de grasa; reduce el área de paso que según la ecuación de continuidad al disminuir esta, la velocidad de paso aumenta y afecta el tiempo de retención.

Los valores de temperatura de pH, que en el ingreso a la planta de tratamiento suelen ser muy variables, se amortiguan a lo largo del tratamiento; sin embargo, influyen en el proceso de tratamiento, ya que a temperaturas altas se observa una concentración alta de materia orgánica (sólidos suspendidos y grasas); parte de esta materia orgánica se disuelve y aunado a que los tiempos de retención en las trampas de grasa no son suficientes para separarlos por densidad, estos terminan transitando hasta llegar al tratamiento aerobio, lo que permite la acumulación de materia orgánica en esta área.

Debido a ellos se observa en las últimas semanas un valor mayor en los parámetros de SST, de la salida de la planta de tratamiento comparados con los de las primeras semanas y porcentajes de remoción de DBO y DQO en descenso; por lo tanto, las mejoras en el pretratamiento son necesarias para así tener una correcta operación de las siguientes etapas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis estadístico de todos los parámetros evaluados aunque en su mayoría poseen diferencia significativa entre los valores obtenidos comparados con los parámetros priorizados del Acuerdo Gubernativo 236-2006, se rechaza la hipótesis nula; se nota la alta variabilidad de dichos parámetros. Por lo tanto, es necesario hacer mejoras al sistema.

CONCLUSIONES

1. Se caracterizó la planta de tratamiento bajo estudio y a su vez se determinaron los parámetros críticos a evaluar para el presente estudio.
2. Los parámetros de DBO, DQO y parámetros priorizados en el sistema aerobio se compararon con el acuerdo gubernativo; se determinó que el sistema aerobio no logra cumplir con el tratamiento requerido.
3. Los porcentajes de remoción de los parámetros priorizados dirigen a que el sistema debe implementar mejoras para su desempeño.
4. Se determinó que la variabilidad del afluente de ingreso genera problemas en distintas etapas del tratamiento; a su vez, los tiempos de retención en trampas de grasa y tanque aerobio generan un tratamiento deficiente.
5. Una mejora del pretratamiento y un mejor control sobre este punto genera mejoras en las etapas anteriores, al igual que la correcta operación y mantenimiento de cada una de las etapas del tratamiento.

RECOMENDACIONES

1. Los valores de pH, temperatura y sólidos suspendidos en la entrada de la planta durante las semanas de monitoreo muestran fluctuaciones muy cambiantes, por lo cual se ve la necesidad de homogenizar estos parámetros a través de un tanque homogeneizador.
2. Una reducción del tamaño de la materia orgánica permite la asimilación rápida por parte de los microorganismos para la etapa biológica del tratamiento; esto puede controlarse mejorando la eficiencia del pretratamiento y el tratamiento primario.
3. La transferencia de agua residual de la última trampa hacia el tanque aerobio sin utilizar la bomba genera mejoras en el tiempo de retención dado que al operar dicha bomba la velocidad de paso del agua aumenta, reduciendo el espejo de agua y así el tiempo de retención.
4. La limpieza de las trampas ayuda a evitar acumular sedimento que reduzca el área de paso que según la ecuación de continuidad del agua al disminuir esta área la velocidad de paso aumenta afectando el tiempo de retención.
5. La dirección del flujo de ingreso al sistema aerobio podría invertirse para aprovechar el área de paso y de esta forma también el tiempo de retención.

6. Se debe además de hacer la limpieza de la espuma generada en el tanque aerobio, determinar el tiempo adecuado para la limpieza relacionada a la acumulación de lodos en el mismo.
7. Para un nuevo estudio se deben muestrear los parámetros de P total y N total además de extender los intervalos de muestreo en distintas épocas del año.
8. Para evaluar la remoción eficiente de la materia orgánica se debe mejorar la operación y el mantenimiento del sistema aerobio.

BIBLIOGRAFÍA

1. FENNEMA, Wen R. *Introducción a la química de los alimentos*. 3a ed. Estados Unidos: University of Wisconsin-Madison, 2007. 300 p.
2. GEYER, Fair. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. 4a ed. México: Editorial Limusa, 2008. 103 p.
3. MENCHU, María Teresa; MÉNDEZ, Humberto. *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. 2a ed. Guatemala: INCAP, 2012. 137 p.
4. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2012. 180 p.
5. MIHELIC, James R.; BETH, Julio. *Ingeniería ambiental fundamentos, sustentabilidad, diseño*. México: Grupo Editor Alfoomega, 2011. 500 p.
6. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación, 2015. 159 p.
7. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Manual del biogás*. Chile: Proyecto CHI/00/G32P, 2011. 43 p.
8. SWEENEY WILLIAMS, Anderson. *Estadística para administración y economía*. México: Cengage Learning Editores, S. A., 2008. 360 p.

9. VALLE OLIVA, Beatriz Adriana. *Priorización de parámetros del acuerdo gubernativo 236-2006 para aguas residuales del sector cárnico (ciiu 1511)* Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2012. 142 p.

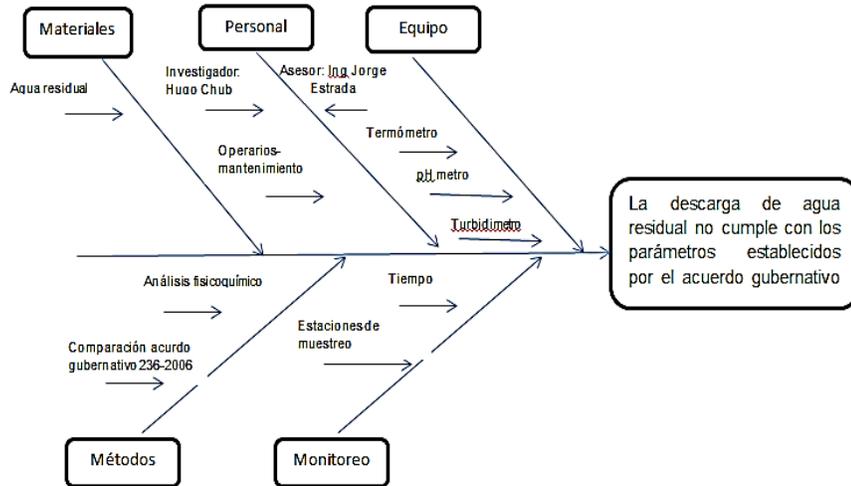
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Área	Curso	Tema
Ingeniería química	Química	Análisis cualitativo	Determinar parámetros fisicoquímicos en aguas residuales.
		Química orgánica I y II	Proteínas, carbohidratos, ácidos grasos.
		Química ambiental	Desarrollo sostenible, manejo de residuos sólidos.
	Área de especialización	Procesos químicos industriales	Proceso de tratamiento de aguas.
		Calidad del agua	Contaminación del agua y tratamientos.
	Área de fisicoquímica	Fisicoquímica I y II	Caracterización fisicoquímica de muestras de agua.
	Área de ciencias básicas y complementarias	Estadística	Métodos de análisis de resultados.

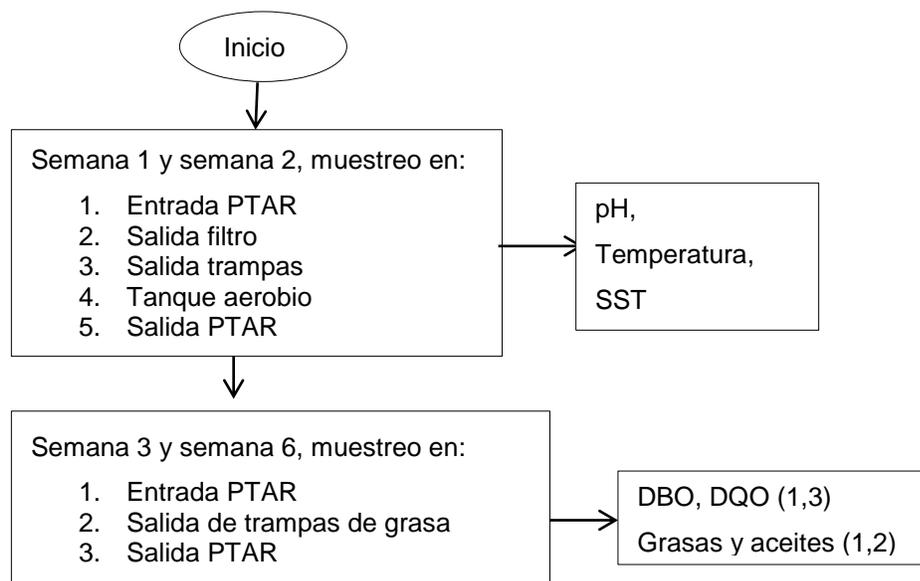
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa

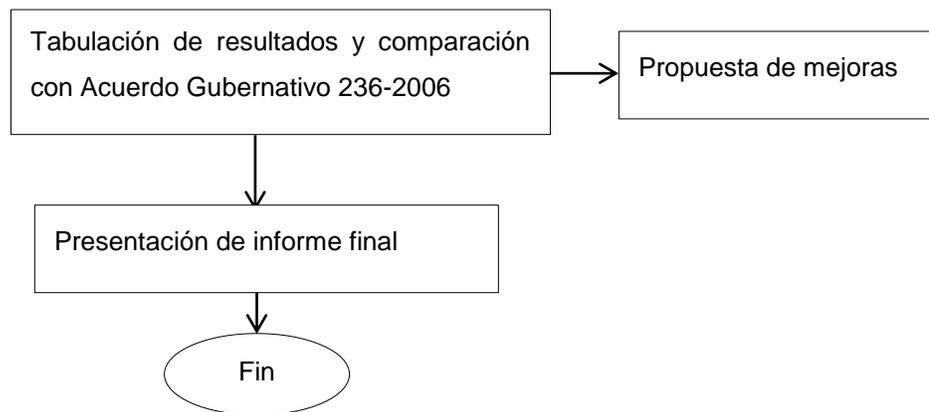


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de flujo de evaluación de parámetros fisicoquímicos priorizados en una planta de tratamiento de aguas residuales de una industria de embutidos



Continuación del apéndice 3.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Resumen muestreo sólidos suspendidos

Semana 20 de junio a 24 de junio			
Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio
Ingreso PTAR	2615,00	97,78	546,01
Salida de filtro	2042,22	127,33	532,32
Salida trampas	1013,44	116,44	445,86
Salida PTAR	937,33	414,44	597,00
Semana 27 de junio a 01 de julio			
Ingreso PTAR	1000,00	99,67	569,49
Salida de filtro	1442,99	81,00	438,62
Salida trampas	944,44	38,73	445,64
Salida PTAR	357,33	236,22	347,04
Semana 04 de julio a 8 de julio			
Ingreso PTAR	1000,00	66,44	580,01
Salida de filtro	2042,22	128,11	480,74
Salida trampas	826,67	133,44	434,55
Salida PTAR	566,00	232,22	444,02
Semana 11 de julio a 15 de julio			
Ingreso PTAR	1000,00	37,67	448,30
Salida de trampas	944,44	131,11	423,44
Tanque aerobio	998,22	530,89	788,51
Salida PTAR	776,22	307,78	618,94

Continuación del apéndice 4.

Semana 18 de julio a 22 de julio			
Ingreso PTAR	1221,33	66,22	620,56
Salida de trampas	1623,00	166,56	584,74
Tanque aerobio	1326,67	493,33	963,36
Salida PTAR	1268,00	346,00	998,17
Semana 25 de julio a 29 de julio			
Ingreso PTAR	1274,44	102,33	550,29
Salida de trampas	998,89	178,67	578,75
Tanque aerobio	1617,67	827,33	1157,59
Salida PTAR	1050,00	677,33	882,87

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Resumen muestreo pH

Semana 20 de junio a 24 de junio			
Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio
Ingreso PTAR	9,00	5,67	7,93
Salida de filtro	8,83	6,51	7,75
Salida trampas	8,85	7,20	7,97
Salida PTAR	8,57	5,33	7,15
Semana 27 de junio a 01 de julio			
Ingreso PTAR	9	7,04	7,47
Salida de filtro	8,83	4,90	7,42
Salida trampas	8,23	7,25	7,45
Salida PTAR	8,10	7,02	7,41
Semana 04 de julio a 8 de julio			
Ingreso PTAR	8,60	6,26	7,11
Salida de filtro	7,93	6,33	7,16
Salida trampas	8,35	6,35	7,09
Salida PTAR	8,14	6,30	7,08
Semana 11 de julio a 15 de julio			
Ingreso PTAR	8,40	5,93	7,32
Salida de trampa	8,29	6,30	7,39
Tanque aerobio	8,33	6,42	7,37
Salida PTAR	8,10	6,30	7,42

Continuación del apéndice 5.

Semana 18 de julio a 22 de julio			
Ingreso PTAR	9,00	6,31	7,46
Salida de trampa	8,85	6,50	8,16
Tanque aerobio	8,23	6,84	7,57
Salida PTAR	8	6,81	7,52
Semana 25 de julio a 29 de julio			
Ingreso PTAR	9,00	6,52	7,43
Salida trampa	8,27	6,40	7,35
Tanque aerobio	8,18	6,92	7,43
Salida PTAR	8,10	6,81	7,52

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Resumen, muestreo, temperatura

Semana 20 de junio a 24 de junio			
Parámetro	Máximo	Mínimo	Promedio
Ingreso PTAR	60,00	11,30	27,71
Salida de filtro	50,27	17,90	26,96
Salida trampas	45,20	18,83	26,45
Salida PTAR	30,20	26,00	27,88
Semana 27 de junio a 01 de julio			
Ingreso PTAR	60,00	11,90	27,43
Salida de filtro	47,13	19,02	28,49
Salida trampas	35,30	18,07	25,30
Salida PTAR	28,87	27,00	28,24
Semana 04 de julio a 08 de julio			
Ingreso PTAR	51,90	35,87	27,62
Salida de filtro	47,13	15,30	26,77
Salida trampas	33,27	28,40	26,21
Salida PTAR	29,77	26,00	28,67
Semana 11 de julio a 15 de julio			
Ingreso PTAR	48,20	11,90	24,19
Salida de trampas	29,50	19,83	25,47
Tanque aerobio	31,00	27,07	29,16
Salida PTAR	31,00	27,83	28,80

Continuación del apéndice 6.

semana 18 de julio a 22 de julio			
Ingreso PTAR	50,00	11,87	27,37
Salida de trampas	35,00	19,83	26,41
Tanque aerobio	31,00	26,43	28,86
Salida PTAR	29,67	27,07	28,22
semana 25 de julio a 29 de julio			
Ingreso PTAR	50,13	10,03	26,72
Salida de trampas	29,20	18,80	25,91
Tanque aerobio	31,00	26,93	28,63
Salida PTAR	30,00	24,87	27,89

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. porcentaje remoción, primera fase

	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l	Mg/l
Lunes	80,20	64,37	-175,86	31,94	9,91	-100,13
	-82,78	58,98	-232,10	-10,60	-454,90	-517,65
	-55,33	59,12	-23,84	-184,44	33,10	-124,89
	-67,00	64,73	59,89	-27,51	-86,33	-9,30
	-15,53	-23,99	0,33	47,43	-468,21	-926,06
	-86,93	65,94	-4,32	-59,53	33,18	-235,75
	-565,96	1,73	28,68	29,38	65,31	16,98
Martes	-58,73	40,39	29,68	32,56	53,76	-48,08
	-9,88	51,01	-306,40	-974,15	-91,61	17,72
	3,84	51,33	-67,04	-648,43	-10,46	-44,28
	3,32	-215,94	-124,41	-81,44	-52,97	29,88
	-135,54	-41,82	-151,56	-96,78	-45,99	38,94
	-20,40	45,41	53,76	-104,07	-69,67	-5,55
	47,49	41,53	-270,96	-170,05	-35,02	-25,05
Miércoles	50,11	55,35	-428,60	-194,35	-103,89	-43,82
	-270,37	56,16	64,27	-111,06	-235,75	-171,68
	-135,43	-53,24	-234,26	-341,87	-103,56	-126,53
	-111,39	-65,00	-12,57	-1411,50	-242,49	-157,33
	40,03	59,12	48,35	14,43	12,63	-140,60
	37,24	-30,28	-14,29	21,35	-24,52	-696,85
	34,27	50,52	-758,86	-259,11	-28,13	-295,23
Miércoles	32,30	-41,82	61,64	4,50	-2,79	5,25
	-210,17	-175,86	55,85	-13,15	-4,82	-241,81
	-477,81	58,22	-30,10	-23,90	-36,33	6,78

Continuación del apéndice 7.

Jueves	-391,21	-23,99	42,05	-465,59	-739,89	-121,07
	-189,58	-87,69	48,44	-629,60	-75,01	-126,20
	-63,43	-119,85	25,94	-29,51	-259,07	-133,63
	-186,85	57,92	3,32	-215,44	-17,22	-304,99
	25,44	31,94	51,83	-11,82	-66,95	-34,27
	23,26	-77,05	52,71	2,24	-1389,2	-183,78
	-386,49	62,13	-20,90	6,74	-985,56	-55,96
	-166,58	55,35	65,31	-1,06	-124,90	-168,02
Viernes	-401,14	60,71	-71,31	-23,99	-451,27	17,28
	37,29	61,53	49,05	-43,23	-88,85	3,46
	52,25	-34,90	7,28	-57,10	-100,23	-69,17
	56,88	56,35	47,17	-15,29	-442,75	-299,24
	14,18	-122,32	52,79	27,40	-171,16	27,67
	-87,44	-14,76	43,92	20,34	-22,52	-87,19
	-102,53	80,43	45,28	-261,61	-17,30	-71,89
	-31,92	-17,54	43,17	-90,00	-723,89	-387,06

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Medición de caudal (L/s)

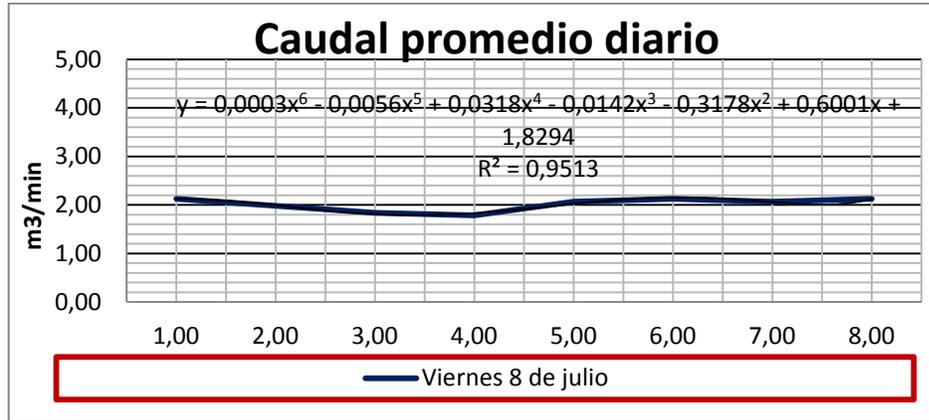
Día	Hora	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
lunes	07:30	1,73	1,84	2,13	1,98	1,70	1,78
	08:30	1,78	2,07	1,98	1,84	1,98	1,90
	09:30	1,98	1,98	1,84	1,90	1,84	2,13
	10:30	2,67	2,67	1,78	2,67	1,93	2,27
	11:30	1,73	2,07	2,07	2,18	2,13	2,40
	12:30	1,70	3,02	2,13	1,55	2,40	2,67
	14:10	1,84	2,27	2,07	1,73	3,39	2,54
	15:10	1,67	1,98	2,13	1,84	3,39	2,13
Martes	07:30	1,78	2,13	2,32	1,78	1,55	3,39
	08:30	2,13	1,98	1,98	1,98	1,84	1,84
	09:30	2,67	2,67	1,98	2,13	1,67	1,84
	10:30	2,91	2,04	1,84	1,55	1,78	2,13
	11:30	1,84	1,84	2,49	3,39	2,13	2,67
	12:30	2,67	2,40	2,35	2,07	2,67	2,54
	14:10	1,90	2,13	2,40	1,78	2,91	2,54
	15:10	2,67	2,27	1,90	1,98	1,27	2,40

Continuación del apéndice 8.

Miércoles	07:30	2,18	1,98	2,13	1,55	3,39	2,40
	08:30	1,73	1,93	2,07	1,98	1,84	2,32
	09:30	1,78	1,93	1,98	1,78	2,13	2,21
	10:30	1,98	1,84	2,01	3,25	2,27	2,32
	11:30	2,07	1,78	2,29	2,79	2,67	1,98
	12:30	1,70	2,27	2,67	2,91	2,40	2,67
	14:10	1,84	2,13	2,04	2,67	2,13	2,07
	15:10	2,27	2,67	1,98	2,40	2,67	2,40
Jueves	07:30	2,84	2,07	1,84	2,13	2,13	3,39
	08:30	2,91	1,98	2,67	2,35	2,04	2,79
	09:30	2,27	2,13	1,90	2,04	1,84	2,40
	10:30	2,35	2,04	2,67	1,55	2,13	1,98
	11:30	1,98	1,98	2,18	2,13	2,40	2,79
	12:30	1,93	2,07	1,73	1,84	2,32	2,54
	14:10	1,93	2,67	1,78	1,90	2,46	2,91
	15:10	1,84	2,04	1,98	2,27	2,51	2,13
Viernes	07:30	1,78	2,07	2,07	2,07	2,07	1,95
	08:30	2,27	1,84	3,39	2,13	2,21	2,35
	09:30	2,13	1,98	1,84	1,90	2,46	2,13
	10:30	2,67	2,13	2,27	2,40	2,54	1,84
	11:30	2,27	2,27	2,84	2,13	2,67	2,13
	12:30	2,84	2,40	2,91	2,67	1,90	2,40
	14:10	2,91	2,32	2,27	2,91	2,91	2,79
	15:10	2,40	2,04	2,35	2,27	2,82	2,40

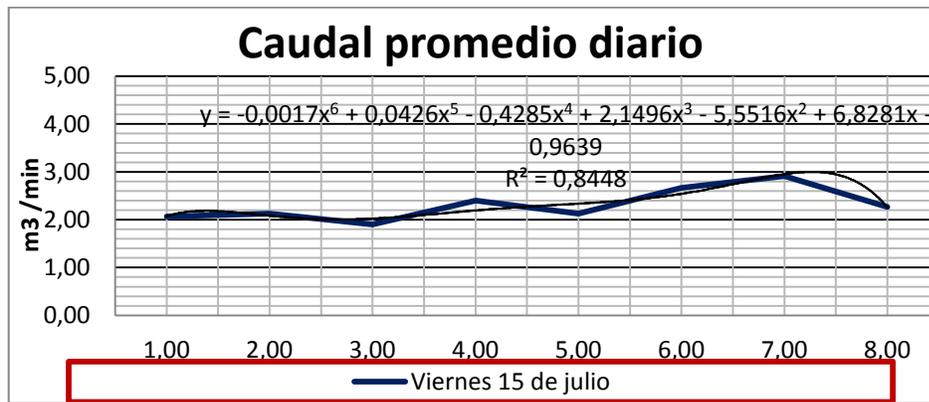
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Caudal promedio diario, 8 de julio



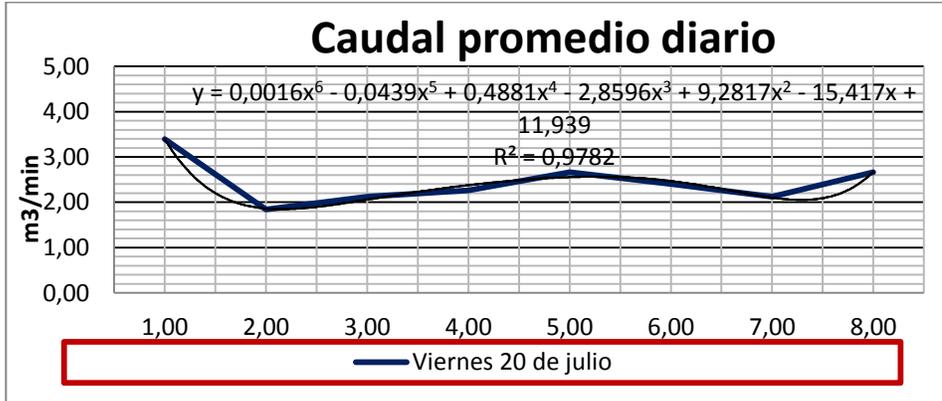
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Caudal promedio diario, 15 de julio



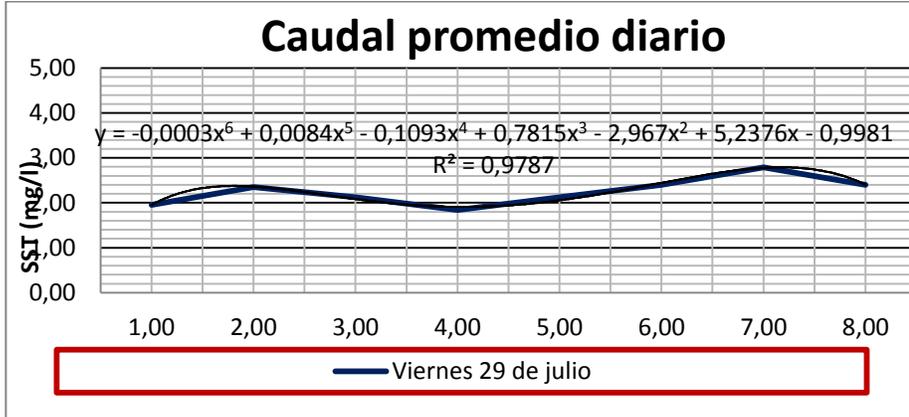
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Caudal promedio diario, 15 de julio



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. Caudal promedio diario, 29 de julio



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Cálculo, carga diaria DBO Kg/día**

mg /l	m3/día	l/día	mg/día	kg/día
2978	18,57	18570	55301460	55,30
3100	7,14	7140	22134000	22,13
2700	11,45	11450	30915000	30,92
2906	13,51	13510	39260060	39,26
Promedio				36.90 kg/día

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Análisis, como imhoff, entrada y salida de trampas de grasa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Análisis, como imhoff, entrada y salida de trampas de grasa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Análisis, como imhoff, entrada y salida, de trampas de grasa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Análisis, como imhoff, entrada y salida de trampas de grasa**

- Entrada: la capa de grasa es bastante densa, al tomar la muestra no se distingue proporción de agua.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Muestras de agua en distintas etapas de tratamiento**

- 1. Entrada a PTAR. 2. Salida filtro. 3 Salida trampas de grasa. 4. Salida PTAR.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Muestras de agua en distintas etapas de tratamiento**

- 1. Entrada a PTAR. 2. Salida filtro. 3. Salida trampas de grasa. 4. Salida PTAR.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Muestras de agua en distintas etapas de tratamiento**

- 1. Entrada a PTAR. 2. Salida filtro. 3. Salida trampas de grasa. 4. Salida PTAR



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Sedimento, primera trampa de grasa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Sedimento, segunda trampa de grasa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Sedimento, última trampa de grasa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. **Análisis cono imhoff, entrada y salida de trampas de grasa (segunda fase)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. **Análisis cono imhoff, entrada y salida de trampas de grasa (segunda fase)**



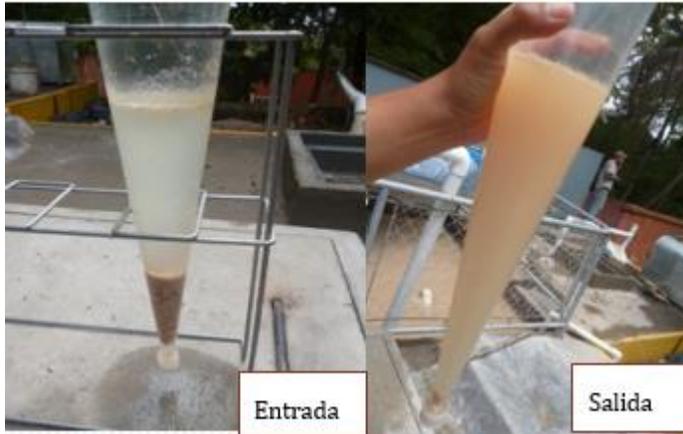
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. **Análisis cono imhoff, entrada y salida de trampas de grasa (segunda fase)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. **Análisis cono imhoff, entrada y salida de trampas de grasa (segunda fase)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Análisis cono imhoff, entrada y salida de trampas de grasa (segunda fase)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Muestras de agua en distintas etapas de tratamiento**

- 1. Entrada a PTAR. 2. Salida filtro. 3. Salida trampas de grasa. 4. En tanque aerobio. 5. Salida PTAR.



Fuente: elaboración propia.

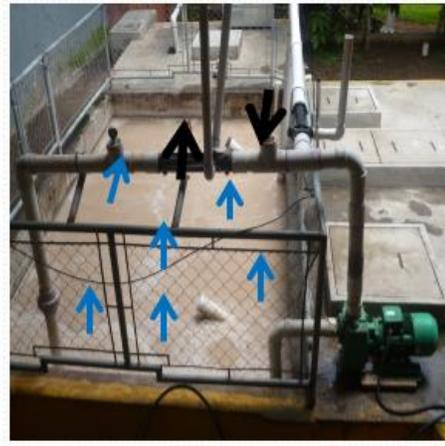
Apéndice 30. **Muestras de agua en distintas etapas de tratamiento**

- 1. Entrada a PTAR. 2. Salida filtro. 3. Salida trampas de grasa. 4. Tanque aerobio. 5. Salida de PTAR.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Dirección del flujo de aire y del caudal de agua**



Fuente: elaboración propia.