



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS
DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN UN ESTABLECIMIENTO DE
TRANSFORMACIÓN DE PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS**

Miguel Alfredo Figueroa Sanabria

Asesorado por el MSc. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz

Guatemala, noviembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN
DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN UN ESTABLECIMIENTO
DE TRANSFORMACIÓN DE PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIGUEL ALFREDO FIGUEROA SANABRIA

ASESORADO POR EL MSC. ING. NICOLÁS DE JESÚS GUZMÁN SÁENZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Héctor Adolfo Ruíz Godoy
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

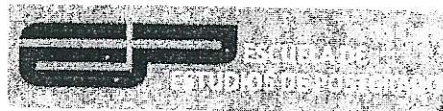
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN
DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN UN ESTABLECIMIENTO
DE TRANSFORMACIÓN DE PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 15 de noviembre de 2013.


Miguel Alfredo Figueroa Sanabria

Universidad de San Carlos
de Guatemala



000213

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142

ADSE-MEAPP-0029-2013

Guatemala, 15 de noviembre de 2013

Director:
Víctor Manuel Monzón Valdez
Escuela de Ingeniería Química
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante Miguel Alfredo Figueroa Sanabria con carné número 1994-15467, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría de Energía y Ambiente.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

MSc. Nicolás Guzmán
Ingeniería civil y Sanitaria, Qol. 4540

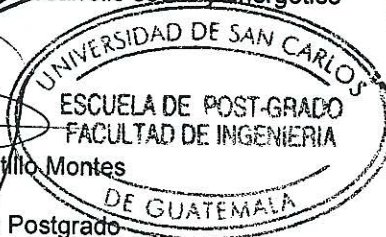
"Id y enseñad a todos"

Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504

MSc. Ing. Nicolás de Jesús Guzmán S.
Asesor (a)

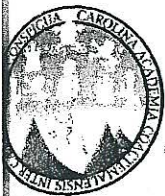
MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.
Coordinador de Área
Desarrollo social y energético

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la

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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.384.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **MIGUEL ALFREDO FIGUEROA SANABRIA**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN UN ESTABLECIMIENTO DE TRANSFORMACIÓN DE PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"

Victor Manuel Monzon Valdez

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre 2013

Cc: Archivo
 Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala
 VMMV/ale





Ref. DTG.844.2013

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: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN UN ESTABLECIMIENTO DE TRANSFORMACIÓN DE PRODUCTOS HIDROBIOLÓGICOS**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Alfredo Figueroa Sanabria**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of a large loop and a vertical line extending downwards.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por hacer todo posible.
Mis padres	María Elida Sanabria Erazo. Miguel Alfredo Figueroa Lucero. Que con amor y sabiduría guiaron mi vida.
Mis hijos	Jimena Sofía Figueroa Menéndez. Miguel Ernesto Figueroa Menéndez. Por ser la inspiración en cada paso que doy.
Mi familia	Por el apoyo, la comprensión y su presencia.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios Por estar presente en todo momento.

Mis padres María Elida Sanabria Erazo.
Miguel Alfredo Figueroa Lucero.
Por su apoyo incondicional.

Mi familia Por el cariño y la insistencia.

Mis amigos Por la amistad de toda una vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	01
2. ANTECEDENTES	03
3. OBJETIVOS	07
4. JUSTIFICACIÓN	09
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
6. ALCANCE DEL TEMA.....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Definición de aguas residuales.....	15
7.1.1. Terminología.....	15
7.1.2. Definición.....	17
7.1.3. Clasificación.....	17
7.1.4. Parámetros de evaluación	17
7.1.5. Muestreo.....	18
7.1.6. Tratamiento de las aguas	19

7.2.	Impacto de las aguas residuales.....	21
7.2.1.	Concepto de salud ambiental.....	21
7.2.2.	Impacto de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores.....	23
7.2.3.	Importancia de los mecanismos de infiltración y flujo.....	24
7.2.4.	Impacto de los microorganismos patógenos de las aguas residuales.....	26
7.2.5.	Información de Guatemala.....	29
7.2.6.	Impacto de las aguas residuales de establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos.....	29
7.3.	Industria de transformación de productos hidrobiológicos Guatemala.....	30
7.3.1.	Definición.....	30
7.3.2.	Generalidades.....	31
7.3.3.	Aguas residuales de la industria de productos hidrobiológicos.....	33
7.4.	Manejo y tratamiento de aguas residuales en la industria hidrobiológica.....	35
7.5.	Marco legal.....	40
8.	HIPÓTESIS.....	43
9.	CONTENIDO PROPUESTO DEL INFORME FINAL.....	45
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	47
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	53
11.1.	Depuración y eliminación de datos atípicos.....	53

11.2.	Presentación de los datos	53
11.3.	Interpretación de los datos	53
11.4.	Matriz descriptiva.....	53
11.5.	Porcentaje de cumplimiento	54
11.6.	Categorización de parámetros.....	54
11.7.	Selección de parámetros	54
12.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	55
13.	RECURSOS NECESARIOS.....	57
14.	BIBLIOGRAFÍA	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Descripción de los procesos de mitigación.....	26
2.	Diagrama de flujo de proceso.....	32
3.	Equipo GW700	50

TABLAS

I.	Tipos de tratamientos de aguas residuales	20
II.	Tratamiento de aguas en América Latina	24
III.	Categorías de las infecciones causadas por microorganismos	28
IV.	Calidad de agua en el proceso de mariscos.....	34
V.	Calidad de agua proceso de camarón	34
VI.	Prácticas de tratamiento de aguas residuales	39
VII.	Variables de estudio	48
VIII.	Límites y etapas de cumplimiento de parámetros.....	52
IX.	Presupuesto.....	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
g	Gramo
g/l	Gramo por litro
kg/t	Kilogramo por tonelada
>	Mayor a
<	Menor a
SM	Método estándar
mg/l	Miligramo por litro
ml	Mililitro
NPM	Número más probable
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
PH	Potencial de hidrógeno
Q	Quetzales
SS	Sólidos suspendidos
U PtCo	Unidades platino cobalto

GLOSARIO

Agua residual	Tipo de agua que ha sido usada y está contaminada.
Caracterizar	Determinar los atributos y características peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de lo demás.
Contaminación	Es la alteración nociva del estado natural de un medio causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en un medio físico o en un ser vivo.
Cuerpo receptor	Se denomina a un curso de agua, río o arroyo; un lago, o un ambiente marino, bahía, estuario, golfo, al cual se descarga un efluente de aguas residuales.
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
Establecimiento de transformación	Instalaciones autorizadas para transformar producto hidrobiológico.
Infiltración	Acción de introducir suavemente un líquido entre los poros de un sólido.

Medio ambiente

Entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o de la sociedad, es decir todo lo que rodea a un ser vivo.

RESUMEN

En el medio guatemalteco existen establecimientos dedicados a la transformación de productos hidrobiológicos, estos establecimientos consumen una gran cantidad de agua la cual se contamina durante su uso en el proceso para luego ser descargadas a cuerpos receptores. Si las descargas se hacen sin tratamiento se puede causar un impacto ambiental y daño a la salud de los seres humanos.

En esta investigación se caracterizarán las descargas de aguas residuales de un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos para analizar los resultados y compararlos con el Acuerdo Gubernativo 236-2006: reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

Con estos resultados se describirán las estrategias recomendadas para la mitigación de la contaminación y que las descargas de las aguas residuales cumplan con la legislación nacional.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales resultantes de los procesos de una planta de transformación de productos hidrobiológicos están contaminadas y al descargarlas a un cuerpo receptor tienen un impacto en el medio ambiente, para saber el impacto que produce se realizará la evaluación de las descargas de estas aguas residuales en un establecimiento localizado en la ciudad de Guatemala y que en este caso sólo procesa camarón. La evaluación se hará en el segundo ciclo de producción del 2013 (agosto a diciembre).

La evaluación consistirá en la caracterización de las descargas de las aguas residuales, se compararán los resultados con los parámetros de evaluación del Acuerdo Gubernativo 236-2006, se determinarán los parámetros críticos de contaminación fuera de los límites máximos permitidos y se establecerán los lineamientos de mitigación de la contaminación de las aguas residuales descargadas, estos lineamientos consistirán en establecer un plan de reducción de la contaminación en base a estrategias preventivas de corto, mediano y largo plazo.

Se hace necesario realizar este estudio como parte de las estrategias para la reducción de la contaminación al medio ambiente, específicamente en la contaminación de las aguas, para darle cumplimiento a la legislación nacional según el Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos y del Acuerdo Ministerial No. 105-2008: Manual general del reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos; que es aplicable a todas las industrias radicadas en el país y es de cumplimiento obligatorio.

La hipótesis planteada es que existe contaminación en las aguas residuales descargadas y que se deben entonces proponer las acciones preventivas y correctivas para cumplirlo.

Para esto se dividirá el estudio en una parte teórica en la cual se hará referencia a las aguas residuales, su terminología, definición, clasificación, características, parámetros de evaluación, muestreo y tratamiento de estas aguas. Se describirán las generalidades de la industria, sus procesos, el impacto de las aguas residuales; se estudiará la legislación nacional aplicable a este estudio y se revisarán guías aplicables al manejo de aguas residuales en la industria de productos hidrobiológicos.

Luego se determinarán las muestras a evaluar, los procedimientos a utilizar para la toma de muestras, el número de muestras necesarias para que los resultados sean confiables.

Con estos resultados se establecerá el plan de mitigación para la referida empresa a modo de que al llevarlos a cabo cumpla con la reglamentación de las descargas de aguas residuales.

Toda la investigación realizada se desarrollará bajo las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente, bajo el renglón de evacuación final de efluentes líquidos de la gestión y tratamiento de aguas.

2. ANTECEDENTES

A nivel internacional se han desarrollado opciones reducción de la contaminación usando tratamiento de aguas residuales para este tipo de industria; dentro de las más importantes se tiene un diseño conceptual de un sistema de depuración biológica de aguas residuales, este fue realizado para una empresa empacadora de camarón y consiste en el tratamiento por medio de lagunas de oxidación, en el cual el objetivo principal es el de reducir la carga orgánica, los sólidos suspendidos y la materia flotante del efluente previo a su vertido en los cauces receptores. (Peralta, Yungan, Ramirez, & Ernesto, 1999).

Otro tratamiento utilizado eficientemente son los lodos activados para el tratamiento de las aguas residuales en la industria de hidrobiológicos. (Herrera, Yabroudi, del Mundo, & Ortega, 2012).

Dentro de los tratamientos de última tecnología se tienen un tratamiento de aguas residuales con un trabajo experimental mediante un Sistema de Flotación de Burbuja Acelerada (BAF). (Colic, Morse, Hicks, Lechter, & Miller, 2008).

Los costos para los tratamientos de las aguas residuales en establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos son elevados, un estudio reciente (Carrión Villacís, 2010) del diseño de una planta de tratamiento de estas aguas nos muestra que los costos rondan los \$ 350 000,00 dólares de EEUU.

Los efectos de la contaminación de las descargas de las aguas residuales de este tipo industrias ya han sido evaluados, en Canadá hay un estudio del efecto de las aguas residuales de plantas de proceso de mariscos sobre una especie de pescado (Sentinel), en este estudio los resultados obtenidos muestran que los peces se benefician como resultado del aporte orgánico de los desechos en su hábitat. (Thériault, Courtenay, Munkittrick, & Chiasson, 2007).

En América Latina también hay industrias procesadoras de mariscos que han hecho estudios de las descargas de aguas residuales. En Ecuador un estudio de Producción más Limpia se indica que los sólidos presentes en el agua producen la mayor contaminación de las descargas de aguas residuales en las plantas que procesan productos hidrobiológicos. (San Miguel, 2004).

En Cuba un estudio de las aguas residuales de la industria pesquera tomando como indicadores la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y nitrógeno amoniacal (N-NH₄), concluye que la información recabada debe ayudar a diseñar los tratamientos efectivos para las aguas residuales a descargar. (Romero, 2006).

En la región centroamericana, en Honduras, que tiene una industria de hidrobiológicos desarrollada se han hecho estudios y análisis evidenciando que, como parte importante del impacto ambiental de la industria de transformación de productos hidrobiológicos se encuentran las aguas residuales descargadas. (Mancía, 2007).

Los métodos usados para el tratamiento de aguas residuales en este tipo de industria se dividen en físicos, químicos y biológicos, algunos de estos métodos se aplican en el tratamiento de las aguas residuales así como en la recuperación de sólidos de la misma, los cuales pueden ser reincorporados a la harina de pescado, o bien se pueden extraer compuestos bioactivos de ellos. (García, Pacheco, Valdez, E, Lugo, & Ezquerro, 2009).

La evaluación de las aguas residuales que se pretende hacer, será la primera publicada para este tipo de industria en Guatemala.

3. OBJETIVOS

General

Evaluar la contaminación de las descargas de aguas residuales de un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos.

Específicos

1. Caracterizar las descargas de las aguas residuales en un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos.
2. Analizar los resultados con los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.
3. Describir las estrategias a corto, mediano y largo plazo para la mitigación de la contaminación de las descargas de aguas residuales.

4. JUSTIFICACIÓN

La expansión de las actividades económicas exige cada vez más el uso de los recursos naturales, siendo el agua uno de ellos; por lo cual se deben establecer medidas que eviten que la contaminación por su uso en la industria produzcan daños al medio ambiente. Estas aguas deben ser descargadas a los cuerpos receptores en cumplimiento de las leyes nacionales para reducir el impacto ambiental, estas leyes indican la obligación de propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso del ambiente y mantener el equilibrio ecológico, evitando la depredación de los recursos naturales incluido el agua. Estas disposiciones dieron origen al Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos; y al Acuerdo Ministerial No. 105-2008: Manual general del reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos que son de cumplimiento obligatorio en el país por lo que todas las empresas que realicen actividades económicas son afectas.

El uso de agua en los establecimientos de transformación es de vital importancia, ya que representa un consumo muy importante en su actividad, por eso es necesario que se haga la evaluación de las descargas de las aguas residuales; con esto se estarán cumpliendo las leyes, permanecerá en un ámbito de competitividad como parte del gremio hidrobiológico del país y llevará a cabo satisfactoriamente sus actividades económicas, además que esta evaluación puede servir de referencia a los demás establecimientos de transformación del país.

El diseño experimental de la evaluación de las descargas de aguas residuales, están bajo las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, concretamente en lo referente a la evacuación final de efluentes líquidos bajo el tema de gestión y tratamiento de aguas, este estudio servirá como trabajo de graduación.

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aguas que se usan en los procesos en los establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos al ser descargadas en los cuerpos receptores generan contaminación, para reducir esta contaminación el Gobierno de Guatemala en mayo de 2006 puso en vigencia el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, donde se establecen las etapas de cumplimiento para el 2011, 2015, 2020 y 2024, y se establecen los criterios y requisitos que deben cumplirse; cualquier establecimiento o instalación que descargue aguas residuales debe cumplir dicho reglamento.

Este problema se enmarca bajo las líneas de investigación de la Maestría de Energía y Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por lo cual desarrollarlo servirá como proyecto de graduación.

Las delimitaciones del estudio serán las siguientes: se realizará para las descargas de aguas residuales de un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos que procesa únicamente camarón, ubicado en la ciudad de Guatemala, las descarga de las aguas residuales se hacen a un cuerpo receptor, y el período de análisis será el segundo ciclo de producción del 2013 (agosto a diciembre).

Preguntas de investigación:

¿Qué contaminación generan las descargas de aguas residuales de un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos?

¿Qué características tienen las aguas residuales descargadas por un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos?

¿Cómo se comparan los resultados de los parámetros con el Acuerdo Gubernativo 236-2006: reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos?

¿Qué estrategias se deben considerar para la mitigación de la contaminación y el cumplimiento con la legislación?

6. ALCANCE DEL TEMA

Los alcances que pretende el presente estudio son:

Tener un precedente de investigación de la contaminación de las aguas residuales descargadas por plantas de transformación de productos hidrobiológicos, en este caso únicamente camarón.

En el desarrollo del diseño de investigación se evaluarán los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.

Se pretende conocer y evaluar la contaminación de las descargas de aguas residuales de establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos, será un estudio descriptivo y se llevará a cabo en el segundo ciclo de la temporada de producción de un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos ubicado en la ciudad de Guatemala, se escoge el segundo ciclo ya que en ese momento es mayor la contaminación que pudiera existir en las descargas por motivos de producción, también es época de invierno cuando los suelos están más saturados, además se escogerán días donde las producciones alcancen los máximos.

Alcances de la solución:

Desconocimiento del tema: se describirán las características de la contaminación de las aguas residuales descargadas por un establecimiento de

transformación de productos hidrobiológicos, en la actualidad en Guatemala no hay ningún tipo de estudio para esta industria.

Mitigación de la contaminación: apoyar con soluciones a la industria hidrobiológica a corto, mediano y largo plazo para que con la implementación de las mismas se reduzcan los niveles de contaminación de las descargas de aguas residuales.

Perspectiva de impacto:

Este estudio brindará apoyo técnico a la empresa donde se realizará la caracterización de las aguas, servirá de apoyo y guía a las demás industrias del sector así como a nuevos proyectos de establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos.

Se mitigará el impacto de la contaminación de las aguas residuales al medio ambiente, a través de la preservación de un recurso valioso como el agua.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales contará con información útil sobre la caracterización de aguas residuales de los establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos.

Instituciones de Investigación tendrán información que permita desarrollar otros estudios más puntuales sobre la contaminación de aguas residuales de establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos.

Población que pueda ser afectada con esta contaminación puede verse beneficiada en el aspecto salud.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Definición de aguas residuales

El término agua residual define las aguas contaminadas ya sean de uso doméstico o industrial.

7.1.1. Terminología

A continuación se presenta una breve terminología usada en el tratamiento de aguas residuales. (Traducción libre del inglés (Metcalf, 2003)).

Biosólidos: principalmente un orgánico, producto semisólido de aguas residuales que queda después de los sólidos se estabilizaran biológicamente o químicamente y son adecuados para un uso beneficioso.

Características: (aguas residuales) tipos generales de los componentes de aguas residuales, tales como físico, químico, biológico o bioquímico.

Composición: la distribución de las aguas residuales, incluyendo la física, química y componentes biológicos.

Constituyentes: componentes individuales, elementos o entidades biológicas tales como sólidos suspendidos o nitrógeno amoniacal.

Contaminantes: constituyentes añadidos al suministro de agua a través del uso.

Desinfección: reducción de microorganismos que causan enfermedades por medios físicos o químicos.

Efluente: líquido descargado desde una etapa de procesamiento.

Impurezas: constituyentes añadidos al suministro de agua a través de su uso.

Nutriente: elemento que es esencial para el crecimiento de plantas y animales. Los nutrientes en las aguas residuales, generalmente nitrógeno y fósforo, puede causar crecimiento indeseado de algas y plantas en lagos y arroyos.

Parámetro: un factor medible como la temperatura.

Fuentes puntuales: carga contaminante descargada en un lugar específico de tuberías, desagües.

Reciclaje: la reutilización de aguas residuales tratadas y biosólidos con fines benéficos.

Repurificar: tratamiento de aguas residuales a un nivel de adecuado para una variedad de aplicaciones incluyendo la reutilización potable indirecta o directa.

Reutilizar: aprovechamiento de las aguas residuales regeneradas.

Lodos: sólidos eliminados de las aguas residuales durante el tratamiento. Los sólidos que se tratan se denominan biosólidos.

Sólidos: material extraído de las aguas residuales mediante separación por gravedad y es el residuo sólido a partir de operaciones de deshidratación.

7.1.2. Definición

Aguas residuales, o también conocidas como aguas negras, se originan a partir de los desechos domésticos, humanos y de animales, aguas residuales industriales, escorrentía e infiltración de aguas subterráneas. (Dar Lin, 2007)

7.1.3. Clasificación

Las aguas residuales se clasifican en 4 tipos principales debido a las fuentes que la producen, estas son: las aguas residuales domésticas o urbanas, las aguas residuales industriales, las aguas residuales por escorrentías de uso agrícola y las aguas pluviales. Aunque el objetivo del tratamiento de las aguas residuales se hace principalmente para las dos primeras, la contaminación por aguas agrícolas y por aguas pluviales de zonas urbanas está adquiriendo suma importancia. (Ramalho, Beltrán, & Soria, 1996)

7.1.4. Parámetros de evaluación

A continuación se presenta los parámetros a evaluar para el presente estudio que establece la legislación nacional aplicable obligatoriamente a todos los entes generadores de aguas residuales que descargan sus aguas a cuerpos receptores.

1. Temperatura,
2. Potencial de hidrógeno,
3. Grasas y aceites,
4. Materia flotante,
5. Sólidos suspendidos totales,

6. Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
7. Demanda química de oxígeno,
8. Nitrógeno total,
9. Fósforo total,
10. Arsénico,
11. Cadmio,
12. Cianuro total,
13. Cobre,
14. Cromo hexavalente,
15. Mercurio,
16. Níquel,
17. Plomo,
18. Zinc,
19. Color y
20. Coliformes fecales.

(Presidencia de la República de Guatemala, 2006) y (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2008).

7.1.5. Muestreo

Los programas de muestreo se llevan a cabo por una variedad de razones, las principales serían obtener los datos de funcionamiento de rutina sobre el rendimiento global de una planta de tratamiento, que los datos que se puedan utilizar para documentar el rendimiento de una determinada operación de tratamiento o proceso, que datos se puedan utilizar para implementar propuestas de nuevos programas, y que los datos sean utilizados para los informes de cumplimiento normativo.

Para cumplir con los objetivos del programa de toma de muestras, los datos recogidos deben ser:

1. Representativos: los datos deberán reflejar las características de las aguas residuales o el medio ambiente que se muestrea.
2. Reproducibles: los datos obtenidos deben ser reproducibles por otros siguiendo el mismo muestreo y protocolos analíticos.
3. Defendible: la documentación debe estar disponible para validar los procedimientos de muestreo. Los datos deben tener un grado conocido de exactitud y precisión.
4. Útil: los datos se podrán utilizar para alcanzar los objetivos de un plan de monitoreo.

(Metcalf, 2003)

7.1.6. Tratamiento de las aguas

Para el tratamiento de aguas se debe tomar en cuenta lo siguiente:

1. ¿Cuán limpia el agua del efluente final de nuestra planta debe ser?
2. Las cantidades y la naturaleza de las aguas del efluente que tenemos que tratar.
3. Las propiedades físicas y químicas de los contaminantes que necesitamos eliminar o hacer neutros en el agua efluente;
4. Las propiedades físicas, químicas y termodinámicas de los residuos sólidos generados a partir del tratamiento de las aguas; y
5. El coste del tratamiento de agua, incluyendo el costo del tratamiento, el procesamiento y encontrar un lugar para el desecho de los residuos sólidos.

(Cheremisinoff, 2002)

Y los tipos de tratamiento que existen son:

Tabla I. **Tipos de tratamientos de aguas residuales**

NIVEL DE TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
Preliminar	La eliminación de los componentes de las aguas residuales, tales como trapos, palos, elementos flotantes, arena y grasa que pueden causar problemas de mantenimiento u operativas con las operaciones de tratamiento, procesos y sistemas auxiliares.
Primario	La eliminación de una porción de los sólidos en suspensión y la materia orgánica de las aguas residuales.
Primario avanzado	Mejorar la remoción de sólidos suspendidos y la materia orgánica de las aguas residuales. Típicamente cabo por adición de productos químicos o filtración.
Secundario	La eliminación de la materia orgánica biodegradable (en solución o suspensión) y los sólidos suspendidos. La desinfección es también típicamente incluida en la definición de tratamiento secundario convencional
Secundario con remoción de nutrientes	Eliminación de compuestos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos, y nutrientes (nitrógeno, fósforo, o ambos nitrógeno y fósforo)

Continuación de la tabla I.

Terciario	La eliminación de residuos sólidos en suspensión (después de tratamiento secundario), por lo general por medio de filtración granular o micro pantallas. La desinfección es también típicamente una parte del tratamiento terciario. La eliminación de nutrientes a menudo se incluye en esta definición.
Avanzado	La eliminación de los materiales disueltos y suspendidos restantes después del tratamiento biológico normal cuando se requiera para diversas aplicaciones de reutilización de agua.

Fuente: (Metcalf, 2003).

7.2. Impacto de las aguas residuales

El impacto es el efecto que tienen las aguas residuales sobre su entorno, que impliquen que impliquen una alteración perjudicial.

7.2.1. Concepto de salud ambiental

Por ser el agua un elemento indispensable para la vida e imprescindible como herramienta de trabajo, resulta de gran importancia el cuidado del abastecimiento de agua limpia y potable, y el reconocimiento de los métodos a emplear para el tratamiento de esta a fin de que pueda ser devuelta a su ciclo natural causando el menor impacto posible en el medio ambiente, por lo que se hace necesario tratamiento previo de las aguas residuales para que estas puedan ser descargadas adecuadamente a los cuerpos receptores.

Desde hace algunos años se ha manejado este concepto de salud ambiental y se define como la protección ambiental y la reducción de los efectos nocivos del ambiente en la salud del ser humano; esto se ha convertido en requisitos inseparables de los esfuerzos para construir un proceso efectivo y sostenido de desarrollo económico y social, además no se agota en el conocimiento del impacto del ambiente sobre la salud sino que abarca también el diseño, la organización y la ejecución de acciones tendientes a impedir o a revertir los efectos nocivos del ambiente sobre la salud humana. La salud ambiental comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales. También se refiere a la teoría y práctica de evaluación, corrección, control y prevención de los factores ambientales que pueden afectar de forma adversa la salud de la presente y futuras generaciones. (Organización Panamericana de La Salud, 1991).

Por lo tanto las descargas de aguas residuales deben bajo el adecuado diseño mitigar el impacto hacia la salud ambiental, preservando el medio ambiente y la salud humana, tomando como objetivo el de proteger y promover la salud ambiental, como lo indica el objetivo principal de los servicios de salud ambiental; asegurar mejores condiciones de vida a fin de promover la salud humana. (MacArthur I, 1997).

7.2.2. Impacto de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores

Muchos aspectos de las prácticas actuales de descarga de las aguas residuales causan un riesgo significativo de la contaminación de los cuerpos receptores. En términos generales una degradación significativa de la calidad del agua de los cuerpos receptores puede ocurrir y algunos problemas pueden presentarse en forma muy lenta pero serán muy persistentes.

Bajo ciertas condiciones hidrogeológicas, altas tasas de lixiviación pueden amenazar los cuerpos receptores, por contaminación con bacterias y virus patógenos, con trazas orgánicas y otros. El uso para la irrigación podría conducir a incrementos sustanciales en la concentración de nitrato y salinidad de los cuerpos receptores, y a la presencia de trazas de compuestos orgánicos persistentes.

Aunque los beneficios de las recargas de aguas residuales son necesarias para que el ciclo del agua sea completado se deben establecer los beneficios del incremento de la recarga del acuífero versus el riesgo de contaminación. El grado del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas variará ampliamente con la escala y modo de generación de las aguas residuales, su calidad y las condiciones hidrogeológicas predominantes. (Foster, Gale , & Hespanhol, 1994).

A continuación se presenta un cuadro que nos presenta un resumen del tratamiento de aguas residuales, sus prácticas de disposición y reuso para América Latina.

Tabla II. Tratamiento de aguas en América Latina

	Enfoque de Informe	Instalacion/Proceso	Objetivo Primario	Nivel de Tratamiento		Recarga Agua Sub-teranea
				Normal	Requerido	
CON ALCANTARILLADO		Estanques de Estabilización/oxidación	tratar	P	P,S	cas, acc
		Estanque/fosa/zanja de infiltración/drenaje de infiltración esparcimiento sobre tierra	disponer;	P,S	P,S	dis, cas
			algunas veces	S	S	dis, cas
		Irrigacion agrícola o recreo filtracion en lecho rio contaminado	usar o tratar	C,P	P,S	cas
			usar	C,P	S,T	cas, acc
		ninguna	C, P, S	-	acc	
Lixiviado de alcantarillas	ninguna	C	-	acc		
	pozos profundos de inyeccion	disponer	S,T	T	dia*	
SIN ALCANTARILLADO		Tanque septico con sumidero ciego	disponer	P,S	S	cas
		fosa septica	disponer	C	C	cas
		letrinas	disponer	C	C	cas
		descarga ilegal a pozos abandonados	disponer	C	-	acc, cas

C = crudo, P = Primario, S = Secundario, T = terciario, dis = diseñado, cas = casual, acc= accidental, * no al acuífero de agua

Fuente: (Foster, Gale , & Hespanhol, 1994).

Como se aprecia actualmente en la Región de América Latina y el Caribe las descargas de las aguas residuales a los cuerpos receptores se hace como un resultado casual da las prácticas existentes de disposición.

7.2.3. Importancia de los mecanismos de infiltración y flujo

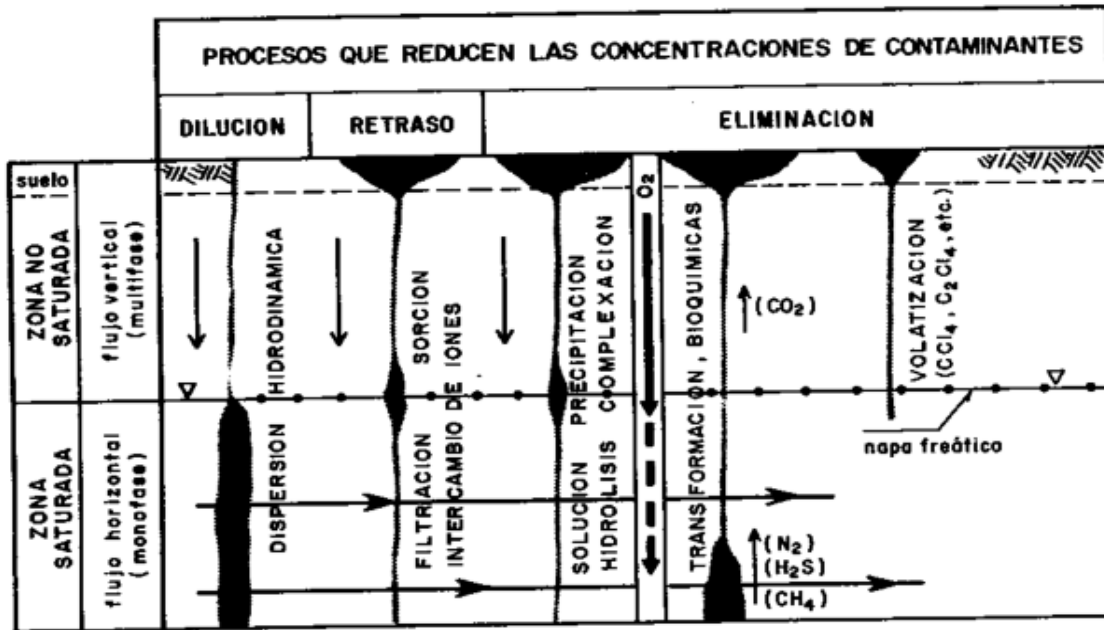
El flujo de las aguas residuales a través del subsuelo, la zona no saturada y el acuífero saturado mejora su calidad, los suelos naturales mitigan en forma activa la mayoría de los contaminantes y por ello son considerados como un sistema efectivo para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La recarga de los acuíferos se puede dar accidentalmente como resultado de una infiltración no controlada o deliberadamente como método de disposición del recurso hídrico subterráneo o a través de la infiltración controlada. Por lo que en ambos casos la tasa de infiltración puede variar y normalmente es continua.

Las variaciones de los mecanismos de descarga y las tasas de infiltración ejercen una influencia importante en la eficiencia de los procesos bioquímicos de auto purificación y esto debe tenerse en cuenta cuando se evalúan los efectos de las descargas de las aguas residuales en los acuíferos. Cuanto más lenta y más intermitente la infiltración más efectivos los procesos de auto purificación.

A continuación se presenta un resumen de los procesos que favorecen la mitigación de contaminantes en el subsuelo y su actividad relativa en el suelo.

Figura 1. Descripción de los procesos de mitigación



Fuente: (Foster, Gale , & Hespanhol, 1994).

7.2.4. Impacto de los microorganismos patógenos de las aguas residuales

Son los microorganismos que pueden afectar o dañar la salud del ser humano, por lo que son de gran importancia al hablar del impacto de las aguas residuales. La presencia de estos microorganismos en las descargas de aguas residuales aumentará el impacto significativamente.

(Feachem, Bradley, Garelick, & Mara, 1983) Clasificaron las infecciones causadas por los microorganismos en 5 categorías:

- I) Patógenos infecciosos inmediatos, no se pueden multiplicar en el ambiente, transmisión por contacto humano, supervivencia suficiente en aguas residuales.
- II) Bacteria infecciosa, se multiplica fuera del huésped, impacto significativo en aguas residuales.
- III) Nematodos intestinales transmitidos por el suelo, periodo de incubación latente, son los de mayor riesgo a la salud humana, de grave impacto en aguas residuales
- IV y V) Tenias y helmintos que requieren de un huésped intermedio, bajo impacto en aguas residuales.

A continuación se presenta un cuadro con ejemplos de las categorías, mostrando sus parámetros infecciosos.

Tabla III. Categorías de las infecciones causadas por microorganismos

Patogeno	Clase*	Carga (por gramo de heces)	Estado latente ** (días)	Persistencia *** (días)	Dosis Infecciosa ****
Categoría I					
Rotavirus	V	1.E+07	0	90	baja
Hepatitis A	V	1.E+06	0	?	baja
Giardia Lambia	P	1.E+05	0	25	baja
Entamoeba Histolitica	P	1.E+05	0	25	baja
Categoría II					
Campylobacter Fetus	B	1.E+07	0	7	alta
E-coli Patógeno	B	1.E+09	0	90	alta
Salmanella Typhi	B	1.E+08	0	60	alta
Otra Salmonella	B	1.E+08	0	90	alta
Shigelia	B	1.E+07	0	30	media
Vibrio Cholerae	B	1.E+07	0	30	alta
Categoría III					
Ascaris Lumbricoides	H	1.E+04	10	360	bajo
Anquilostomas	H	1.E+02	7	90	bajo
Trichuris Trichiura	H	1.E+03	20	270	bajo

*V= Virus, B= bacteria, P=protozoo, H= helminto, ** tiempo minimo desde la excrecion hasta la infección, *** vida infecciosa máxima a 25° C, **** bajo= 1E2, medio =1E1, alto =1E6

Fuente: (Foster, Gale , & Hespanhol, 1994).

7.2.5. Información de Guatemala

En el país aún no se tienen datos sobre la calidad del agua como recurso natural, se estima que solo alrededor del 5 % de las aguas residuales provenientes de los diversos usos reciben algún tratamiento, son descargadas directamente en cuerpos receptores y consecuentemente también se estima que en su mayoría las aguas superficiales del país están contaminadas. Además no existe monitoreo de la calidad de aguas superficiales y subterráneas, con excepción de algunos puntos estratégicos de la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA). Los estudios acerca del tema de la calidad son puntuales y han sido realizados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), y por distintas universidades del país, incluyendo la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos (ERIS). (Banco Interamericano de Desarrollo, 2006)

7.2.6. Impacto de las aguas residuales de establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos

En los establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos se tiene un alto consumo en el uso del agua, se usa tanto para el proceso como para la limpieza de la planta y el equipo. Por lo tanto, el uso del agua por unidad de producto disminuye rápidamente a medida que aumenta el volumen de producción. Otras fuentes de consumo de aguas son almacenamiento, el transporte, limpieza, la congelación y descongelación; preparación de salmueras, etc.

Descargas generadas a partir del procesamiento de productos hidrobiológicos contienen altas cargas de materia orgánica, son importantes debido a la presencia de aceites, proteínas y sólidos suspendidos. También pueden contener niveles altos de fosfatos y nitratos.

La calidad del efluente depende en gran medida del tipo de producto hidrobiológico que sea transformado y el tipo de procesamiento emprendido. Si las aguas residuales descritas anteriormente se descargan sin tratamiento a cuerpos receptores de agua, los contaminantes que contienen pueden causar eutrofización y agotamiento del oxígeno. (Asian Institute of Technology).

Al descargar las aguas residuales a cuerpos receptores, estas ingresan inmediatamente en el ciclo del agua, y en el caso que vamos a analizar van directamente a aguas subterráneas lo que contaminaría considerablemente las fuentes de agua.

7.3. Industria de transformación de productos hidrobiológicos Guatemala

La industria de la transformación de productos hidrobiológicos, no es más que la industria del procesamiento de mariscos frescos y/o congelados y todos los procesos en su elaboración que darán un valor agregado a la materia prima.

7.3.1. Definición

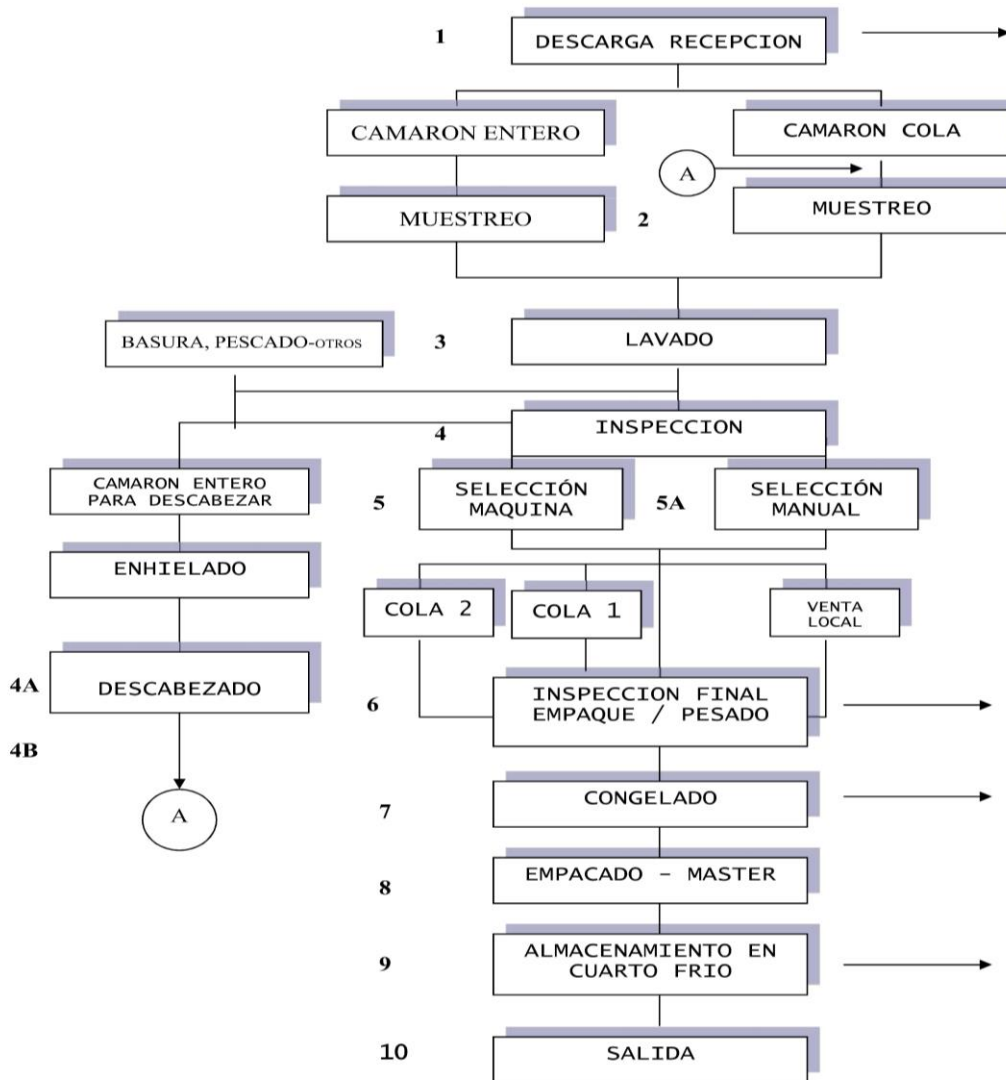
En Guatemala el concepto de plantas de transformación de productos hidrobiológicos es para denominar a las plantas que transforman (someter a una modificación física de su integridad anatómica y/o que es conservado en hielo) productos hidrobiológicos (materia de origen hidrobiológico (pescados y

mariscos) que será sujeta a transformación para su consumo o procesamiento posterior. (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2005).

7.3.2. Generalidades

Los procesos en un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos están definidos por las necesidades de cada instalación, a continuación se presenta un diagrama de flujo general y común a estos procesos.

Figura 2. Diagrama de flujo de proceso



Fuente: planta transformadora de productos hidrobiológicos ubicada en ciudad de Guatemala.

Como se aprecia en el diagrama de flujo, el proceso consiste en: la materia prima fresca proveniente de las fincas de cultivo ingresa a la planta para un lavado, luego se inspecciona para determinar la calidad, se clasifica por tamaños, se pesa, se congela, se empaca, luego se almacena en cuartos

refrigerados. En las estaciones de lavado es donde más se consume agua, así como en la fabricación del hielo que se usa para mantener la temperatura del producto fresco durante el proceso. El uso de agua es de suma importancia y es el insumo que más se consume en relación a la materia prima que ingresa a las instalaciones.

7.3.3. Aguas residuales de la industria de productos hidrobiológicos

El grado de contaminación de las aguas residuales depende de varios parámetros, de los cuales los más importantes son las operaciones que se están llevando a cabo y las especies hidrobiológicas que se están procesando. Considerando sólo un tipo de operación, la rutina de funcionamiento en cada fábrica también ejerce una fuerte influencia sobre las aguas residuales características. Un parámetro particular puede presentar una amplia gama de valores numéricos.

A continuación se presentan algunos de los rangos reportados.

Tabla IV. **Calidad de agua en el proceso de mariscos**

Efluente	DBO	DQO	Grasas	Sólidos Totales	Sólidos Suspendidos
Proceso de Mariscos Manual	3,32 kg/t		0,348 kg/t		1,42 kg/t
Proceso de Mariscos Mecánico	11,9 kg/t		2,48 kg/t		8,92 kg/t
Proceso de Atún	6,8-20 kg/t		1,7-13 kg/t		3,8-17 kg/t
Proceso de Sardina	9,22 kg/t		1,74 kg/t		5,41 kg/t
Fileteado de Pescado (sangre)	23 500-34 000 mg/l	93 000 mg/l	0%-1,92%	2,64%-6,3%	

Fuente: (González, 1996). P. 13-14.

Tabla V. **Calidad de agua proceso de camarón**

		Aguas Residuales	DBO5	Nitrógeno Total	Grasas y Aceites	Sólidos Suspendidos
Camarón	Empanizado	116 m3/t	84 kg/t	5,9 kg/t	20 kg/t	93 kg/t
	Conserva	52 m3/t	82 kg/t	9,5 kg/t	31 kg/t	43 kg/t
	Congelado	115 m3/t	120 kg/t	10 kg/t	29 kg/t	220 kg/t

Fuente: (Asian Institute of Technology) p. 18.

Los resultados de estudios ya realizados muestran que los principales parámetros de consideración lo son el DBO, las grasas totales y la materia orgánica suspendida, y también el nitrógeno total, todo esto resultado de la presencia orgánica en las aguas residuales descargadas.

7.4. Manejo y tratamiento de aguas residuales en la industria hidrobiológica

El proceso para el manejo y tratamiento de aguas residuales debe ser con una visión general del enfoque de ingeniería clásica en el diseño y las actividades relacionadas con la construcción. El procedimiento de diseño clásico incluye los siguientes pasos: Estudio y diseño conceptual, diseño preliminar, diseño final.

Estudio y diseño conceptual:

En esta fase del diseño, las alternativas son examinadas y los criterios de diseño apropiados establecidos, además determinadas las alternativas de construcción en las instalaciones. Para el tratamiento de aguas residuales, las alternativas a la construcción de instalaciones pueden incluir conexión al sistema de una comunidad cercana o la infiltración de control y la entrada en el sistema de alcantarillado. Además, la alternativa nula, ya que el costo de no hacer nada también debe ser considerado.

Aquí se establecen los criterios de diseño, que consiste en características del agua residual; estas características incluyen composición y la fuerza de las aguas residuales, variaciones horarias, diarias, semanales, mensuales y estacionales en el flujo y la fuerza de las aguas residuales, las contribuciones de las actividades industriales y domésticas, lluvia e intrusión, escorrentía,

infiltración y composición mineral del agua residual. También se establecen los estándares que deben ser cumplidos, la fiabilidad del sistema y otros requerimientos, las limitaciones, la vida útil y la selección de alternativas.

Diseño preliminar:

Esta etapa de se hace una comparación más rigurosa de las alternativas que parecen cumplir los objetivos del tratamiento. Se desarrolla un trabajo y un calendario realista a las expectativas y plazos del proyecto. Se deben tomar las decisiones en cuanto a: grado de automatización, mantenimiento, calificación de personal.

Diseño final:

En este punto la alternativa proyecto ha sido seleccionado, cálculos detallados y justificaciones ya están realizados, en estos cálculos, una gama de condiciones son examinadas.

El diseño se completa con el suficiente detalle para seleccionar los fabricantes de equipos, se preparan las especificaciones en forma de proyecto, y se concreta el lugar y el diseño. La elección de los equipos es otro punto crítico de decisión del proyecto. Una vez el diseño está finalizado, bien desarrollados los planos y las especificaciones están preparadas. Se analizan las ofertas en base al detalle de diseño. Se determinan las proyecciones de flujos de efectivo y se preparan los costos probables. El proceso de diseño detallado se completa con una revisión del proyecto en curso. Normalmente, se producen a 30, 60 y 90 por ciento de terminación.

Una vez que el diseño final se ha completado, comienza la fase de construcción. (Mackenzie, 2010).

Después de la selección preliminar del tratamiento de aguas residuales, las consideraciones económicas están dentro de los más parámetros más importantes que influyen en la decisión final en cuanto a qué proceso debe ser elegido para tratamiento de aguas residuales.

Para desarrollar las estimaciones de costos, los datos de la caracterización de las aguas residuales, los parámetros de diseño para los procesos alternativos y las correlaciones de costo para estos deben estar disponibles. Los costos relacionados a estos procesos alternativos y la información sobre la calidad del efluente también deben obtenerse antes la elaboración de las estimaciones de gastos antes de su descarga para el cumplimiento de la legislación. (González, 1996).

Alternativas de tratamiento:

Para cumplir con las normas deben ser lo suficientemente flexibles para el tratamiento de las aguas residuales de procesamiento de mariscos. Además se debe ser consciente de los componentes importantes en el flujo de residuos. Estas aguas residuales contienen cantidades considerables de materia insoluble en suspensión que pueden ser removidos de la corriente de desechos por medios químicos y físicos.

Para una eliminación óptima de los residuos, alguna forma de tratamiento primario se recomienda antes de un proceso de tratamiento biológico o aplicación a la tierra. Una consideración importante en el diseño de equipos de tratamiento es que la retirada de sólidos debe ocurrir tan rápidamente como sea

posible. Se ha encontrado que cuanto más largo el tiempo de detención entre la generación de residuos y eliminación de sólidos, mayor es la DBO y DQO soluble con la correspondiente reducción y recuperación de producto.

Otras características importantes de aguas residuales son las grasas coloidales que no siempre son adecuadamente retiradas por medios químicos y físicos. Una visión general de las alternativas de tratamiento para la proteínas, así como los aceites extraídos del agua por la industria pesquera son opciones las opciones disponibles para la reducción de residuos e identifica la mayoría de las variables que intervienen en el tratamiento de las aguas residuales de proceso.

Para las aguas residuales de las instalaciones de transformación de productos hidrobiológicos, los procesos de tratamiento incluyen cribado, ecualización de flujo, flotación por aire disuelto y alguna forma de asimilación biológica o aplicación a la tierra. Estas operaciones unitarias generalmente se eliminan hasta el 85 % de los sólidos totales en suspensión, y 65 % de la DBO y DQO presentes en el agua residual. (Carawan, Chambers, Zall, & Wilkowske, 1979).

A continuación se presenta un resumen de los tratamientos que se usan en esta industria y sus resultados.

Tabla VI. **Prácticas de tratamiento de aguas residuales**

INDUSTRIA DE MARISCOS		
Sistema de Tratamiento	Uso	Reducción en el Efluente
Flotación por aire disuelto sin floculantes.	Tratamiento primario	Grasas 60% de 100 a 200 mg/l DBO 30% SS 30%
Flotación por aire disuelto con control de pH y con floculantes	Tratamiento primario	Grasas 95-99% DBO 50-65% SS 60-97% DQO 50-75%
Lodos Activados	Tratamiento secundario	DBO 90-95%
Aireación extendida	Tratamiento secundario	DBO 95-97%
Laguna de aireado	Tratamiento secundario	DBO 90-95%
Filtro percolador	Tratamiento secundario	DBO 80-85%
Riego por aspersión	No descarga	TOTAL
Riego por inundación	No descarga	TOTAL
Encharcamiento y la evaporación	No descarga	TOTAL

Fuente: (Carawan, Chambers, Zall, & Wilkowske, 1979).

El cuadro anterior indica que debido a las características de las aguas residuales que se tienen sólo se necesitan tratamientos primarios y secundarios para mitigar la contaminación de las aguas y su posterior descarga para reducir el impacto sobre el medio ambiente.

7.5. Marco legal

En Guatemala partiendo de que la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país se emitió la legislación para ejercer el control, aprovechamiento y uso de las aguas; prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica; lo que dio lugar al Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, que en su artículo 1 cita: “El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos.

Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita: a) Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana. b) Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización. c) Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada”. (Presidencia de la República de Guatemala, 2006).

A raíz de este reglamento el Ministerio de Energía y Ambiente creó una herramienta el Acuerdo Ministerial No. 105-2008: manual general del reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de

lodos, que en su artículo primero establece que debe ser utilizado por los entes generadores de aguas residuales. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2008).

Estos dos documentos serán la guía para el estudio de las aguas residuales que descarga un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos.

8. HIPÓTESIS

Las aguas residuales descargadas por una planta de transformación de productos hidrobiológicos no cumplen con el Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

9. CONTENIDO PROPUESTO DEL INFORME FINAL

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
2. GLOSARIO
3. INTRODUCCIÓN
4. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN
5. OBJETIVOS
6. JUSTIFICACIÓN
7. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA
8. ALCANCES
9. MÉTODOS Y TÉCNICAS

10. MARCO TEÓRICO
 - 10.1. Definición de aguas residuales
 - 10.1.1. Terminología
 - 10.1.2. Definición
 - 10.1.3. Clasificación
 - 10.1.4. Parámetros de evaluación
 - 10.1.5. Muestreo
 - 10.1.6. Tratamientos de las aguas
 - 10.2. Impacto de las aguas residuales
 - 10.2.1. Concepto de salud ambiental
 - 10.2.2. Impacto de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores
 - 10.2.3. Importancia de los mecanismos de infiltración y flujo

- 10.2.4. Impacto de los microorganismos patógenos de las aguas residuales
- 10.2.5. Información de Guatemala
- 10.2.6. Impacto de las aguas residuales de establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos
- 10.3. Industria de transformación de productos hidrobiológicos Guatemala
 - 10.3.1. Definición
 - 10.3.2. Generalidades
 - 10.3.3. Aguas residuales de la industria de productos hidrobiológicos
- 10.4. Manejo y tratamiento de aguas residuales en la industria hidrobiológica
- 10.5. Marco legal

- 11. RESULTADOS
- 12. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 13. CONCLUSIONES
- 14. RECOMENDACIONES
- 15. BIBLIOGRAFÍA
- 16. ANEXOS

10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

Tipo de investigación:

Investigación por objetivo:

El objetivo es: conocer la caracterización de las descargas de aguas residuales de un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos, para establecer los lineamientos de mitigación de la contaminación que producen éstas descargas.

No experimental ya que no se tiene control sobre las variables porque los hechos ya ocurrieron. Los parámetros a evaluar en la caracterización de aguas ya ocurrieron.

Descriptivo:

Se describirán algunas características fundamentales de las aguas residuales descargadas de un establecimiento de transformación de productos hidrobiológicos. Se va a caracterizar una situación concreta indicando sus rasgos.

Tipo de hipótesis:

Hipótesis descriptiva

Variables: listado, dimensionales, metodología de muestreo, tipo de variable y nivel de medición

Tabla VII. **Variables de estudio**

	PARAMETROS		LIMITE DE	METODOLOGIA	Tipo de Variable				Nivel de Medición
			DETECCION						
1	Temperatura	°C			Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Intervalo
2	Potencial de hidrógeno	PH			Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Invervalo
3	Grasas y aceites	mg/l	6	EPA 1664	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
4	Materia flotante				Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
5	Sólidos suspendidos totales	mg/l	6	SM 2450D	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
6	Sólidos sedimentables	mg/l	0.1	SM 2540F	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
7	Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a 20°C	mg/l	6	SM 5210B 4500C	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
8	Demanda química de oxígeno	mg/l	3	HACH 8000	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
9	Nitrógeno total	mg/l	2.5	SM Kjeldahl 4500B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
10	Fósforo total	mg/l	0.2	SM 3030B 3120B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
11	Arsénico	mg/l	0.00124	EPA 7060A REV1	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
12	Cadmio	mg/l	0.0019	SM 3030B 3120B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
13	Cianuro	mg/l	0.005	EPA 335.2	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
14	Cobre	mg/l	0.0106	SM 3030B 3120B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
15	Cromo	mg/l	0.0018	SM 3030B 3120B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
16	Mercurio	mg/l	0.00044	EPA 245.1	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
17	Níquel	mg/l	0.0035	SM 3030B 3120B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
18	Plomo	mg/l	0.0221	SM 3030B 3120B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
19	Zinc	mg/l	0.0076	SM 3030B 3120B	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
20	Color	u PtCo	1	HACH 8025	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
21	Coliformes fecales	NMP/100	<3	SM 9223	Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
22	Relación DQO/DBO	adimensional			Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón
23	Relación DBO/DQO	adimensional			Numerica	Cuantitativa	Continua	Observable	Razón

Fuente: (Presidencia de la República de Guatemala, 2006).

Metodología:

Fase 1: investigación preliminar

Investigación documental:

Al inicio se obtendrá información sobre las aguas residuales, sus características, clasificación, caracterización y tratamientos.

Elaboración de un plan de pruebas:

Conjuntamente con la empresa se elaborará un plan de pruebas de acuerdo a los tiempos de producción en planta, para determinar el momento adecuado de hacer el muestreo.

Fase 2: diseño de investigación, métodos e instrumentación.

Caracterización de las aguas residuales:

Muestreo no probabilístico

Se ha escogido este muestreo debido a las siguientes razones:

En el Acuerdo Gubernativo 236-2006: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos y en el Acuerdo Ministerial No. 105-2008: Manual general del reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos; establecen que se debe hacer una caracterización de las aguas residuales y se debe cumplir con los límites máximos permisibles para poder descargar las aguas residuales a los cuerpos receptores.

Al obtener la caracterización se establecerán los parámetros que estén sobre los límites máximos permisibles y se evaluará si la conveniencia de un mayor número de muestras.

En las instalaciones donde se hará el muestreo ya existe un tratamiento primario consistente en una fosa séptica, por lo que hacer la muestra después de este tratamiento donde ya hay una acumulación y homogenización de las aguas residuales a descargar por lo que los parámetros no cambiarán. Y el tipo

de muestreo compuesto es válido para determinar si un tratamiento es adecuado.

Existe un limitante económico para realizar múltiples muestreos de los parámetros y el uso de muestras compuestas representa un ahorro sustancial en costo y esfuerzo comparativamente con el análisis por separado de un gran número de muestras simples y su consecuente cálculo de promedios.

Método de muestreo:

Muestreo compuesto: dos o más muestras simples recogidas en el mismo lugar en diferentes momentos, mediante el método de muestreo integrado compuesto: que son muestras simples de volumen constante tomadas en intervalos iguales de tiempo.

Instrumentación:

Tomador automático de muestras GW700

Figura 3. **Equipo GW700**



Fuente: Manual de usuario seedmech.

La toma de muestras es realizada por una bomba peristáltica para no generar contaminación.

Posee un regulador avanzado para la programación del rango de medición entre 5 minutos hasta 12 horas, permitiendo controlar totalmente el tiempo entre una muestra y otra.

Fase 3: análisis de datos (incluyendo herramientas estadísticas) e interpretación de resultados

Los resultados de los análisis de los parámetros de caracterización serán comparados con la tabla a continuación, y se determinarán los elementos en los cuales haya que aplicar los lineamientos de mitigación ya sean preventivos o correctivos en base a los resultados.

Tabla VIII. Límites y etapas de cumplimiento de parámetros

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

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: (Presidencia de la República de Guatemala, 2006).

Fase 4: establecer el plan de reducción de la contaminación, estableciendo las estrategias de prevención y los lineamientos de mitigación a corto, mediano y largo plazo.

Para establecer los mejores escenarios se usarán literatura en ingeniería para el tratamiento de aguas residuales y documentos de la FAO para el tratamiento de aguas residuales en la industria de la pesca.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

11.1. Depuración y eliminación de datos atípicos

Todas las mediciones que se consideren erróneas por errores de medición o procedimiento se eliminarán y se trabajará únicamente con los resultados de la medición de parámetros válidos.

11.2. Presentación de los datos

Los resultados obtenidos del análisis de los parámetros de contaminación de las aguas residuales serán presentados en una matriz de tabulación.

11.3. Interpretación de los datos

Se usará el método de emparejamiento por medio de una tabla donde se comparan los resultados obtenidos (configuración empírica observada) contra los límites máximos permisibles (configuración teórica) de todos los parámetros evaluados.

11.4. Matriz descriptiva

Será realizada una matriz descriptiva consistente en una tabla donde se presenten los parámetros que cumplen y los que no cumplen con los límites máximos permisibles, con la intención de obtener una visión global de los datos.

11.5. Porcentaje de cumplimiento

Se determinará el porcentaje de cumplimiento de los parámetros en base a la cantidad que cumplen de la totalidad de los mismos.

11.6. Categorización de parámetros

En base a la desviación de los parámetros que están sobre los límites máximos permisibles se hará una categorización de mayor a menor para establecer que parámetros producen la mayor contaminación en las descargas de aguas residuales y se realizará un matriz de tabulación de éstos datos.

11.7. Selección de parámetros

Usando como base los parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles se diseñarán las estrategias a corto, mediano y largo plazo para la mitigación de la contaminación de las descargas de aguas residuales.

12. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	2013					2014	
	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
Construcción de dispositivo para la toma de muestras							
Diseño del plan de muestreo							
Toma de Muestras							
Análisis de Resultados							
Desarrollo del plan de mitigación de la contaminación							
Elaboración de Informe final							

13. RECURSOS NECESARIOS

Tabla IX. Presupuesto

RECURSOS HUMANOS	TOTAL
Mano de obra trabajos albañilería	Q 1 500
Técnico para la toma de muestras	Q 1 600
Profesional para elaboración de estudio	Q 10 000
Subtotal	Q 13 100
MATERIALES	
Trabajos de Albañilería	Q 2 100
Insumos de librería	Q 525
Subtotal	Q 2 625
ENSAYOS DE LABORATORIO	
Alquiler de Equipo y análisis de aguas	Q 25 000
Subtotal	Q 25 000
	Q 40 725
	Imprevistos
	10% Q 4 073
	TOTAL Q 44 798

Fuente: elaboración propia.

Fuentes de financiamiento:

La empresa financiará todo el proyecto, a excepción del profesional que hará el trabajo final y la evaluación de los resultados.

14. BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA. (1999). *Standard methods for the examination of water and wastewater American Public Health Association. Inc.* Whashington, DC.
2. Asian Institute of Technology. (s.f.). *Industiral Waste Abatement and Management: Seafood Processing.* School of Environment, Resource & Development .
3. Banco Interamericano de Desarrollo. (2006). *Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala. Diagnóstico.* Guatemala.
4. Carawan, R., Chambers, J., Zall, R., & Wilkowske, R. (1979). *Seafood water and wastewater management.* North Carolina State University, North Carolina.
5. Carrión Villacís, S. M. (2010). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa procesadora de camarón.* Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
6. Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technologies.* Woburn, MA, EEUU: Butterworth-Heinemann.

7. Colic, M., Morse, W., Hicks, J., Lechter, A., & Miller, J. (2008). *Advanced Wastewater treatment for the fish processing industries near Ensenada, Baja California*. University of Utah, Universidad Autonoma de Baja California, Clean Water Technologies.
8. Dar Lin, S. (2007). *Water and wastewater calculations manual* (Segunda edición ed.). (C. Lee, Ed.) EEUU: McGraw-Hill.
9. Feachem, R., Bradley, D., Garelick, H., & Mara, D. (1983). *Sanitation and Disease*. Chichester-New York: John Wiley & Sons.
10. Foster, S., Gale, I., & Hespanhol, I. (1994). *Impacto del uso y disposición de las aguas residuales en los acuíferos con referencia a América Latina*. Ginebra: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
11. García, C., Pacheco, R., Valdez, S., E, M., Lugo, M., & Ezquerro, J. (2009). Impacto del agua de cola de la industria pesquera: tratamientos y usos. *CyTa Journal of Food*, 67-77.
12. Gonzalez, J. F. (1996). *Wastewater treatment in the fishery industry*. Roma: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.
13. Herrera, L., Yabroudi, S., del Mundo, V., & Ortega, R. (2012). Herrera, L., Yabroudi, S. C., del Mundo, V., & Ortega, R. (2012). APLICABILIDAD DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS EN EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UNA INDUSTRIA PROCESADORA DE CAMARON. *Revista AIDIS*, 56-66.

14. Lee, C. (2007). *Water and wastewater calculations manual*. EEUU: McGraw-Hill.
15. MacArthur I, B. X. (1997). *Environmental health services in Europe: an overview of practice in the 1990s*. Copenhagen: WHO/EURO.
16. Mackenzie, L. D. (2010). *Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice*. EEUU: McGraw-Hill.
17. Mancía, P. (2007). *Análisis de las condiciones operativas y necesidades de infraestructura y equipo de las plantas procesadoras de camarón en la zona sur de Honduras*. Zamorano, Honduras.
18. Metcalf, E. (2003). *Wastewater Engineering: treatment and reuse*. New York: McGraw-Hill.
19. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (28 de Julio de 2005). *Acuerdo Gubernativo No. 343-2005 Reglamento Sanitario para el funcionamiento de establecimientos de transformación de productos hidrobiológicos*. Guatemala, Guatemala.
20. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2008). *Acuerdo Ministerial No. 105-2008: Manual General Del Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala, Guatemala.
21. Organización Panamericana de La Salud. (1991). *Orientaciones estratégicas y prioridades programáticas*. Washington, DC.

22. Peralta, F., Yungan, J., Ramirez, W., & Ernesto, V. (1999). *Diseño De Lagunas De Estabilizacion Para El Tratamiento De Aguas Residuales Provenientes De Las Industrias Procesadoras (Empacadoras) De Camaron*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
23. Presidencia de la Republica de Guatemala. (2006). Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Guatemala, Guatemala.
24. Ramalho, R., Beltrán, D., & Soria, F. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Quebec: Reverté.
25. Romero, T. (2006). *Aporte contaminante de las aguas residuales de la industria pesquera cubana y su impacto sobre el ecosistema*. Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP), La Habana.
26. San Miguel, A. (2004). *Proceso de implementación de un sistema de producción más limpia en una empacadora de camarones*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
27. Spellman, F. (2003). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. EEUU: Lewis Publishers.
28. Thériault, M.-H., Courtenay, S., Munkittrick, K., & Chiasson, A. (2007). *The effect of seafood processing plant effluent on Sentinel fish species in coastal waters of the southern gulf of St. Lawrence, New Brunswick*. Gulf Fisheries Centre, Fisheries and Oceans Canada, Department of Biology, Université de Moncton, Canadian Rivers Institute, University of New Brunswick.