



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN CUMPLIMIENTO CON EL ACUERDO GUBERNATIVO No.
236-2006 EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE TILAPIA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
SANTA CRUZ MULUÁ, DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**

Carmen Alicia Ponce Ramírez

Asesorado por Msc. Ing. Luis Rodolfo Castro García

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN CUMPLIMIENTO CON EL ACUERDO GUBERNATIVO No.
236-2006 EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE TILAPIA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
SANTA CRUZ MULUÁ, DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARMEN ALICIA PONCE RAMÍREZ
ASESORADO POR MSC. ING. LUIS RODOLFO CASTRO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2022

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. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CUMPLIMIENTO CON EL ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006 EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE TILAPIA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ MULUÁ, DEPARTAMENTO DE RETALHULEU

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 28 de agosto de 2021.

Carmen Alicia Ponce Ramírez



EEPFI-PP-0021-2022

Guatemala, 12 de enero de 2022

Director
Williams G. Álvarez Mejía
Escuela De Ingenieria Quimica
Presente.

Estimado Ing. Álvarez

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CUMPLIMIENTO CON EL ACUERDO GUBERNATIVO NO. 236 2006 EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE TILAPIA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ MULUÁ, DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión Ambiental - Gestión y Tratamiento del Agua - Evacuación final de efluentes líquidos**, presentado por la estudiante **Carmen Alicia Ponce Ramirez** carné número **200611280**, quien optó por 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 en ARTES en Energía Y Ambiente.

Y 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 Décimo, 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.

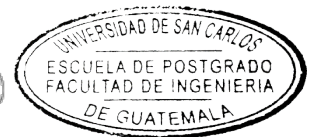
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Luis Rodolfo Castro García
INGENIERO QUÍMICO
MAESTRO EN INGENIERÍA SANITARIA
COLEGIADO No. 1591

Mtro. Luis Rodolfo Castro García
Asesor(a)


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría





Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP.EIQ.0021.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Quimica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CUMPLIMIENTO CON EL ACUERDO GUBERNATIVO NO. 236 2006 EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE TILAPIA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ MULUÁ, DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**, presentado por el estudiante universitario **Carmen Alicia Ponce Ramirez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Williams G. Álvarez Mejía
Director
Escuela De Ingenieria Quimica

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.330.2022

La Decana 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 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CUMPLIMIENTO CON EL ACUERDO GUBERNATIVO No. 236-2006 EN UNA EMPRESA PRODUCTORA DE TILAPIA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ MULUÁ, DEPARTAMENTO DE RETALHULEU**, presentado por: **Carmen Alicia Ponce Ramírez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Ariabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** A mi creador, que sostiene mi vida en su infinita misericordia, por permitirme realizar una más de mis metas.
- Mis padres** Omar Ponce y Alicia Ramírez por haberme traído al mundo y guiado a través de él, mi eterno agradecimiento por todo su esfuerzo y apoyo brindado durante mi vida Los amo.
- Mi esposo** Herbert Detlefsen, por su amor, apoyo incondicional para hacer realidad este sueño, te amo
- Mis hijos** Sophia y Herman Detlefsen, por ser mi motivación para dar lo mejor de mí cada día.
- Mis hermanos** Víctor, Ana y Eva Ponce Ramírez, por su apoyo y compañía durante mi vida

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos para realizar este trabajo de graduación.
Mi asesor	Msc. Ing. Luis Rodolfo Castro García por guiarme y apoyarme durante el desarrollo de este diseño de investigación.
Mis suegros	Herman Detlefsen y Rosa Dubón, por su guía, motivación y apoyo.
Mis tíos y primos	Por motivarme a culminar esta etapa en mi vida.
Mis amigos	Por todas las aventuras, alegrías, esfuerzos en conjunto y haberme acompañado durante la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Descripción del problema	11
3.2. Formulación del problema	12
3.3. Delimitación del problema	13
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. OBJETIVOS	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos	17
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Sistemas de producción piscícola	21
7.1.1. Sistema de circuito abierto con flujo constante.....	21

7.1.2.	Sistemas de recirculación en circuito cerrado	22
7.2.	Aspectos generales de la acuicultura.....	22
7.3.	Generalidades de la empresa de estudio.....	23
7.3.1.	Ubicación.....	23
7.3.2.	Descripción de la empresa	24
7.3.3.	Cultivo de tilapia	27
7.3.4.	Etapa de engorde.....	27
7.3.5.	Etapa de cosecha.....	27
7.3.6.	Alternativas de alimentación.....	28
7.4.	Calidad del agua en la piscicultura.....	28
7.4.1.	Medición de calidad del agua	29
7.5.	Parámetros físicos.....	30
7.5.1.	Temperatura.....	30
7.5.2.	Turbidez	30
7.6.	Parámetros químicos	30
7.6.1.	Salinidad.....	31
7.6.2.	Oxígeno.....	31
7.6.3.	Potencial de hidrógeno (pH).....	31
7.6.4.	Fosfatos.....	32
7.6.5.	Amoniaco (NH ₃), nitritos (NO ₂) y nitratos (NO ₃)	33
7.6.6.	Pesticidas y antibióticos	33
7.6.7.	Características residuos sólidos.....	33
7.6.8.	Características residuos líquidos.....	34
7.7.	Impacto ambiental del efluente	34
7.8.	Regulaciones ambientales nacionales sobre la descarga de Aguas residuales Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	35
7.9.	Parámetros de calidad del agua residual	39
7.9.1.	Temperatura.....	40
7.9.2.	Grasas y aceites.....	40

7.9.3.	Materia flotante	40
7.9.4.	Sólidos suspendidos	40
7.9.5.	Nitrógeno total	41
7.9.6.	Fosfato total	42
7.9.7.	Potencial de hidrógeno (pH)	42
7.9.8.	Coliformes fecales	42
7.9.9.	Arsénico.....	43
7.9.10.	Cadmio	43
7.9.11.	Cianuro	43
7.9.12.	Cobre.....	44
7.9.13.	Cromo hexavalente.....	44
7.9.14.	Mercurio.....	44
7.9.15.	Níquel	45
7.9.16.	Plomo	45
7.9.17.	Zinc.....	45
7.9.18.	Color	46
7.9.19.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	46
7.9.20.	Demanda química de oxígeno (DQO)	47
7.9.21.	Índice de biodegradabilidad.....	47
7.10.	Sistemas de tratamiento de agua	48
7.10.1.	Aireadores y oxigenadores	49
7.10.1.1.	Aireadores de paletas.....	49
7.10.2.	Filtración	50
7.10.2.1.	Filtros manga para tuberías.....	50
7.10.2.2.	Filtros de flujo reversible.....	51
7.10.3.	Estanques de sedimentación.....	52
7.10.4.	Humedales artificiales.....	53
7.10.4.1.	Humedales artificiales de flujo superficial.....	54

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	55
9.	METODOLOGÍA	61
9.1.	Características del estudio	61
9.2.	Unidades de análisis	62
9.3.	Variables	62
9.3.1.	Sistema de producción piscícola	62
9.3.2.	Calidad de efluentes de agua residual	63
9.4.	Plan de muestreo	63
9.4.1.	Parámetros de calidad del agua en el punto de descarga in situ	63
9.4.2.	Parámetros de calidad del agua analizados por un laboratorio subcontratado.....	63
9.5.	Fases del Estudio.....	64
9.5.1.	Fase 1: revisión bibliográfica.....	64
9.5.1.1.	Resultado de caudales, tiempo de retención, factor alimenticio y densidad de la siembra.	65
9.5.2.	Fase 2: gestión o recolección de la información para la caracterización de la calidad del efluente en el punto de descarga.....	65
9.5.2.1.	Evaluación de la calidad del agua residual en el punto de descarga	65
9.5.3.	Fase 3: interpretación de los resultados de los análisis de la calidad del agua residual	65
9.5.3.1.	Determinación de la carga contaminante de los parámetros que no cumplen con el Acuerdo	

	Gubernativo 236-2006 en el punto de descarga.....	66
9.5.3.2.	Medidas de mitigación según la carga contaminante del efluente.....	66
9.5.4.	Fase 4: características del cuerpo receptor final	66
9.5.4.1.	Relación sistema productivo e índice de biodegradabilidad	66
9.5.4.2.	Planteamiento alternativas para el sistema de tratamiento de las aguas residuales	67
9.5.5.	Fase 5: selección de alternativa de tratamiento más adecuada	67
9.5.5.1.	Propuesta de un diseño de sistema de tratamiento para los parámetros que incumplen el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y medidas de mitigación para los efluentes generados en una empresa productora de tilapia	67
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	69
10.1.	Diagnóstico del proceso productivo.....	69
10.2.	Características del agua residual	69
10.3.	Plan de muestreo	70
10.4.	Alternativas de sistema de tratamiento de efluentes	71
10.5.	Aplicación de diseño estadística.....	71
11.	CRONOGRAMA.....	73

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	75
REFERENCIAS	77
APÉNDICE	83
ANEXO	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Árbol del problema	11
2. Ubicación de la empresa	24
3. Diagrama del abastecimiento del agua al proyecto	25
4. Esquema del proyecto	26
5. Representación esquemática del pH y la tilapia	32
6. Diagrama de nitrógeno	41
7. Principales etapas de tratamiento aguas residuales en sistemas municipales, recirculación intensiva y acuicultura de tierra	48
8. Aireador de paleta	49
9. Filtro de manga.....	51
10. Esquema de filtro de flujo reversible.....	52
11. Esquema de humedal artificial de flujo superficial (HAFS)	54
12. Cronograma de actividades.....	73

TABLAS

I. Rangos óptimos para el desarrollo de tilapias	29
II. Límite máximo permisible para entes generadores nuevos	38
III. Parámetros y límites máximos permisibles para reúso	39
IV. Índice de biodegradabilidad: DBO5/DQO	47
V. Obtención de datos del muestreo en el punto de control	71
VI. Recursos financieros necesarios para la investigación	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
NH₃	Amoniaco
NH₄	Amonio
pH	Concentración de iones de hidrógeno
OD	Concentración de oxígeno disuelto
SST	Concentración de sólidos en suspensión
PT	Fósforo total
°	Grados
°C	Grados Celsius
g	Gramo
ha	Hectárea
h	Horas
=	Igual que
Kg	Kilogramo
km	Kilómetro
m	Metro
m³	Metro cúbico
m³/s	Metro cúbico por segundo
mg/L	Miligramo por litro
mm	Milímetro
NO₃	Nitrato
NO₂	Nitrito
NT	Nitrógeno total
%	Porcentaje

“	Pulgadas o segundos
Q	Quetzales
ton	Tonelada

GLOSARIO

Acuicultura	Cultivo y desarrollo de especies acuática en medios naturales y artificiales manejados por el hombre con la finalidad comercial o de sustento
Afluente	El agua captada por un ente generador
Aguas residuales	Las aguas que han recibido uso y cuyas cualidades han sido modificadas
Aguas residuales tipo especial	Las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como la mezcla de esta
Biodegradabilidad	Capacidad que tienen las sustancias y los materiales orgánicos de descomponerse en sustancias más sencillas debido a la actividad enzimática de microorganismos
Biofiltración	Transformación de la materia orgánica presente en las aguas residuales por medio de bacterias que se adhieren al soporte granulado y lo colonizan.

Biorremediación	Es la tecnología que tiene como objetivo acelerar la biodegradación natural de los compuestos orgánicos que han sido vertidos intencional o inadvertidamente al ambiente, mediante la optimización de las condiciones limitantes de tal proceso
BMP	Buenas prácticas de manejo
Carga	El resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kg/día
Caudal	El volumen de agua por unidad de tiempo
Coloidal	Sistema fisicoquímico formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas; por lo general sólidas
Cuerpo receptor	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno

Efluente de aguas residuales	La salida o flujos salientes de cualquier sistema que despacha flujos de agua. Este es el agua producto dada por el sistema
Ente generador	Persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.
Ente generador nuevo	Los entes generadores establecidos posteriormente a la vigencia del reglamento del acuerdo
Estabilización de lodos	Proceso físico, químico o biológico al que se someten los lodos para acondicionarlos previo a su aprovechamiento o disposición final.
Eutrofización	En ecología designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático.
Humedal	El sistema acuático natural o artificial, de agua dulce o salada, de carácter temporal o permanente, generalmente en remanso y de poca profundidad

Límite máximo permisible	El 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
Lodos	Los sólidos con un contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales
Monitoreo	El proceso mediante el cual, se obtiene, interpreta y evalúa los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes, aguas para reuso y lodos
Muestra	La parte representativa por analizar, de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos
Parámetro	La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reuso o lodos, asignándole un valor numérico
Punto de descarga	Sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales
Sistema de circuito abierto	Sistema caracterizado por recibir un constante flujo de agua en la entrada cuya tasa de recambio puede ser el 50 % o más del total de volumen por hora y en donde comúnmente el fitoplancton no juega un rol alimenticio ni ecológico importante

Sistema de tratamiento de aguas residuales **de de** Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de estos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales

RESUMEN

El presente trabajo llevará a cabo la evaluación de diferentes alternativas para el tratamiento de aguas residuales, de una empresa productora de tilapia como ente generador nuevo, ubicada en el municipio de Santa Cruz Muluá en el departamento de Retalhuleu, en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 con los límites máximos permisibles establecidos para la descarga final al cuerpo receptor.

Se analizarán los parámetros establecidos por Acuerdo Gubernativo 236-2006, en campo y por un laboratorio subcontratado; el plan de muestreo se establecerá mediante las especificaciones del Artículo 49, del mismo acuerdo, para la frecuencia de la toma de muestras según el cuerpo receptor de la zona de estudio. Para el diseño de la investigación se realizará la toma de muestra en puntos de control como la descarga al cuerpo receptor del efluente proveniente de los estanques y el abastecimiento de agua de la empresa.

Al mismo tiempo de la caracterización del efluente, se realizarán determinaciones de caudales, densidad de la siembra como diagnóstico del sistema productivo, para la determinación de la carga contaminante que aportan las aguas residuales. Considerando el análisis de los parámetros que incumplen el reglamento, para proponer medidas de mitigación del impacto de las aguas residuales.

Lo dicho hasta aquí supone realizar la investigación de alternativas de tratamiento como humedales artificiales, lagunas aireadas, filtros percoladores, tanques de sedimentación, entre otros. Para a continuación definir la propuesta

del sistema de tratamiento que mejor se adapte, considerando la biodegradabilidad en el cuerpo receptor, la viabilidad técnica y económica de la empresa. La investigación se realizará en un período de seis meses.

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, se ha incrementado la contaminación del suelo y del agua, por la intensificación de las actividades agrícolas que se han vuelto nocivas debido a la necesidad de generar cantidades cada vez mayores de alimentos y satisfacer las demandas de la creciente población. Como resultado al crecimiento acelerado de la acuicultura la generación de efluentes puede causar impactos negativos a los recursos hídricos donde son descargados.

El suministro de alimento es una de las principales causas de la contaminación del agua residual de esta actividad, ya que estas no son aprovechadas en su totalidad por los organismos vivos. En los sistemas de producción de estanques, solamente el 70 % de los nutrientes suministrados son aprovechados por los peces para su crecimiento, a causa de esto el resto se acumula como sedimentos o son liberados a los cuerpos de agua natural.

Dentro de los métodos identificados para mitigar este impacto se encuentra la aplicación de mejores prácticas de manejo en la alimentación (BMP), la integración de sistemas de recirculación (SAR), para el aprovechamiento del agua, además de técnicas de tratamiento como la sedimentación, remoción de sólidos, la filtración, sistemas de humedales artificiales con plantas acuáticas entre otros, para el tratamiento del efluente.

Los efluentes de estas aguas residuales pueden tener altas concentraciones de compuestos nitrogenados, fósforo, alta carga de sólidos suspendidos totales (SST) , así mismo, altas demandas biológicas y químicas de oxígeno (por sus siglas DBO y DQO respectivamente) y otros, por lo que al ser

liberados sin ningún tratamiento, pueden causar graves problemas ambientales como la eutrofización, un factor visto en la contaminación de lagos y ríos con exceso de nutrientes que genera la aceleración del crecimiento de algas, la muerte de peces, la modificación de los micro ecosistemas acuáticos bentónicos, cambios en la flora y fauna acuática y la consecuente generación de condiciones anaerobias.

La empresa en particular no cuenta con una gestión y tratamiento de efluentes, por lo que es necesario evaluar si se está cumpliendo con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, según el tipo de producción actual, a fin de realizar un estudio para alternativas de tratamiento en el punto de descarga.

Estas alternativas deben permitir la mejora de la calidad del agua residual, en sus diferentes etapas de producción, razón por la cual debe proponerse en este estudio medidas de mitigación, para el impacto encontrado; esto como parte de un emprendimiento productivo exitoso y para el aprovechamiento del recurso. La propuesta de tratamiento debe cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en el Artículo 21 del acuerdo antes mencionado.

El diagnóstico del proceso productivo, la caracterización del agua residual en el punto de descarga, la carga contaminante de cada parámetro según el acuerdo, y el índice de biodegradabilidad del efluente en el cuerpo receptor, son los criterios que permitirán el planteamiento de diferentes tecnologías de tratamientos de agua, tomando en cuenta los aspectos técnicos, económicos y ambientales de la empresa productora de tilapia.

La factibilidad del estudio está dada por una mejora en los procesos productivos desde el punto de vista ambiental; identificando los efluentes para su

disposición final y la propuesta de un sistema de tratamiento económicamente viable y sostenible al aumento de la producción, para el cumplimiento de la normativa nacional de aguas de descargas y reúso descrita en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. La investigación se realizará en un periodo de seis meses, y se cuenta con los recursos humanos, económicos y los permisos necesarios para su realización.

2. ANTECEDENTES

Hay que considerar que los efluentes de esta actividad pueden causar impactos negativos al ambiente el cual depende de la cantidad total o concentración liberada y la capacidad de asimilación del medio ambiente para cada constituyente en particular, sin embargo a pesar de la complejidad en el cultivo de la tilapia, existen varias alternativas que pueden considerarse como medidas de mitigación, desde el manejo de buenas prácticas piscícolas durante todas las etapas del proceso productivo, la caracterización, así como la biodegradabilidad del efluente en el cuerpo receptor con el propósito de determinar alternativas eficientes de tratamiento como vía de producción sostenible, según las exigencias mundiales, logrando que la actividad no se lesiva o se vea condenada con el tiempo.

Viadero, Cunningham, Semmens, y Tierney, (2005) *Impacto de la producción y los efluentes derivado de las operaciones de acuicultura con flujo continuo en Virginia del Este*, este estudio proporcionó a las partes interesadas (industria, el estado y el gobierno federal) datos de referencia de la calidad del agua de efluentes específicos para sistemas de circuito abierto de flujo continuo; en donde en cada operación se aumentó la producción, obteniendo una mayor carga de los contaminantes en los efluentes, sobrepasando los límites permitidos sin embargo, con la adaptación de un sistema de tratamiento como tanques de sedimentación, se logró reducir la carga de masa contaminante y de igual manera permitir futuros incrementos en la producción, manteniendo el cumplimiento normativo de la ley nacional.

Por lo tanto, los análisis de este estudio pueden ser de utilidad para futuras evaluaciones económicas de los costos y beneficios relativos al mejoramiento de la calidad del agua residual con la construcción de sistemas de tratamiento de efluentes, haciendo énfasis en el potencial del aumento de la producción.

Dentro de la *Guía de Principios y Prácticas de la Acuicultura en estanques*, de Lannan, Smitherman y Tchobanoglous (1986), se describen principios biológicos del funcionamiento del cultivo de diferentes especies en estanques, así como las prácticas de producción y manejo de la calidad del agua de otros autores, se revisó el artículo publicado por Fast, Arlo W.(1986) *Sistemas de producción de estanques: Manejo de prácticas para la Calidad del Agua* que explica la importancia de la calidad del agua para el cultivo de diferentes especies de aguas cálidas, y el buen manejo y gestión de la producción. Describiendo como uno de los más importantes componentes de calidad del agua el oxígeno disuelto, así mismo planteó lineamientos para los parámetros de salinidad, turbidez y temperatura y sus efectos en el desarrollo de la especie, definiendo los rangos operacionales óptimos y la necesidad de investigar de técnicas para control y manejo de los residuos al final de la producción, por ejemplo, la aireación y el encalado, como neutralizante de ácidos de calcio y magnesio.

El trabajo realizado por Iturbide, Kathya (2008), *Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación*, compara dos sistemas de producción siendo estos abiertos y semiabiertos que se encuentran en una zona de estudio similar a la de esta investigación, comparando la calidad de los efluentes para la propuesta de un sistema de tratamiento, los resultados indican una gran diferencia en los parámetros específicamente de demanda biológica de oxígeno (DBO5), demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), color y sólidos sedimentables entre los dos sistemas. Por lo que se puede concluir

que una alta tasa de recambio y un menor tiempo de retención hizo que el riesgo por contaminación de los efluentes fuere mínimo e incluso nulo, a diferencia del sistema semiabierto el cual puede llegar a ser altamente contaminante para el cultivo, así mismo al cuerpo receptor del efluente. Sin embargo, este tipo de sistema presentó ser una oportunidad para la implementación de un sistema de producción con cultivos acuapónicos, tomando en cuenta su bajo costo y la efectividad para reducción de los nutrientes presentes en el efluente.

Borja, (2002), en su estudio titulado *Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad* plantea que los factores que inciden en la calidad del producto final y en la sostenibilidad de la actividad, son la buena calidad del agua (donde deben controlarse variables como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, sólidos en suspensión y contaminantes) y la buena renovación de aguas (donde la corriente en la zona debe ser suficiente para evitar las acumulaciones de productos de desecho). El desarrollo sostenible de la acuicultura es posible respetando el medio ambiente y realizando acciones que permitan disminuir los posibles impactos, mediante la adopción de medidas de mitigación técnicamente apropiadas, económicamente viables y socialmente aceptadas. Aunque la mayoría de los métodos de tratamiento de agua utilizados en sistemas de acuicultura intensiva o recirculante dan como resultado una reubicación de nutrientes y materia orgánica, más no una reducción de las descargas, esta reubicación permite reducir los impactos potenciales al medio ambiente al facilitar el tratamiento de efluentes.

Durante el proceso de producción de tilapias las aguas residuales que contaminan los cuerpos receptores se caracterizan por la alta presencia de materia orgánica, sólidos, compuestos, principalmente fósforo y nitrógeno; que provienen de la alimentación y el metabolismo de los peces. Existen diferentes tecnologías las cuales se utilizan en el tratamiento de éstos, como lo son filtros

con grava, sistemas de recirculación, biofiltración en sistemas acuapónicos, sedimentación convencional, osmosis, humedales artificiales de flujo superficial, subsuperficial y con plantas acuáticas o macrófitos entre otros. La acuaponía y el uso de macrófitos es ampliamente investigado en el tratamiento de estas aguas residuales, sin embargo, una de las desventajas de este sistema es que tiene poca capacidad para acumular biomasa por lo que debe de realizarse un mantenimiento adecuado.

Según Blázquez, (2016) la mezcla de macrófitos emergentes y sumergidas otorga el mayor beneficio para remoción de nitrógeno en humedales debido a su gran capacidad de en la asimilación de estos nutrientes; pueden ser de utilidad para tratar efluentes piscícolas ya que éstos son altos en nutrientes como fósforo y nitrógeno los cuales son indispensable para el desarrollo de estas plantas acuáticas.

A continuación, se describen artículos relevantes a éste tipo de sistema de tratamiento.

En la investigación titulada *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte*, expresan que, debido a su alta remoción de contaminantes, los sistemas que manejan macrófitas flotantes son una opción importante a tomar en cuenta en tratamientos de aguas residuales, domésticas e industriales, siendo una alternativa económicamente viable ya que tienen un consumo bajo de energía y un diseño práctico en comparación a otros sistemas, en este estudio el autor definió los tres mecanismos primarios en el proceso de depuración para los contaminantes, los cuales fueron:

Filtración y sedimentación de sólidos, la incorporación de nutrientes en plantas y su posterior cosechado, la degradación de la materia orgánica

por un conjunto de microorganismos facultativos asociados a las raíces de las plantas; y en los detritos del fondo de la laguna, dependiendo el diseño. Así mismo nos describe las macrófitas acuáticas más comunes utilizadas en el tratamiento de aguas residuales que incluyen el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la salvinia (*Salvinia Spp*) y algunas especies de lentejas de agua tales como *Lemna Spp*; *Spirodella Spp*. (Martelo y Borrero, 2012, pp.224-225)

Por ejemplo, un estudio relacionado con las plantas y su remoción es el de Schulz, Gelbrecht y Rennert (2003), *Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow* este estudio mostró que los humedales creados por el flujo subterráneo se pueden utilizar para el tratamiento de efluentes de los sistemas de flujo continuo de la acuicultura. Los nutrientes entrantes se eliminaron dentro de cada humedal continuamente inundado. La reducción de SST y DQO de 95,8 a 97,3 % y 64,1 a 73,8 %, respectivamente, no mostró influencia de la carga hidráulica. Las tasas de eliminación de NT y PT variaron entre un 20,6 % y un 41,8 % y entre un 49 % y un 68,5 %, respectivamente, de manera proporcional a la disminución de los tiempos de residencia. Sin embargo, una alta carga de nutrientes en el área de los sistemas de flujo subterráneo podría influir negativamente en la eliminación de nutrientes a largo plazo al obstruir la matriz del suelo. Las tasas de remoción obtenidas demostraron que los humedales creados con altas cargas hidráulicas redujeron la entrada de nutrientes en cantidades comparables o superiores a las logradas con tratamientos mecánicos como micropantallas o tanques de sedimentación.

Rahman, et al., (2020) *Diseño, operación y optimización de humedales artificiales para remoción de contaminantes* los humedales artificiales ofrecen un enfoque respetuoso con el medio ambiente, son de bajo costo, tienen menos

requisitos operativos y de mantenimiento. Tienen un alto potencial para ser aplicados en países en desarrollo, particularmente en pequeñas comunidades rurales. Sin embargo, la gestión sostenible y la aplicación exitosa de estos sistemas siguen siendo un desafío.

Este estudio basado en revisiones ilustra que los factores para el diseño y la operación de un Humedal Artificial, como la selección de la planta, la selección del sustrato, la profundidad del agua, la tasa de carga, el tiempo de retención hidráulica y el modo de alimentación, son cruciales para lograr un rendimiento de tratamiento sostenible. Las macrófitas y sustratos de los humedales representan dos factores que influyen en la eficiencia de la eliminación de contaminantes.

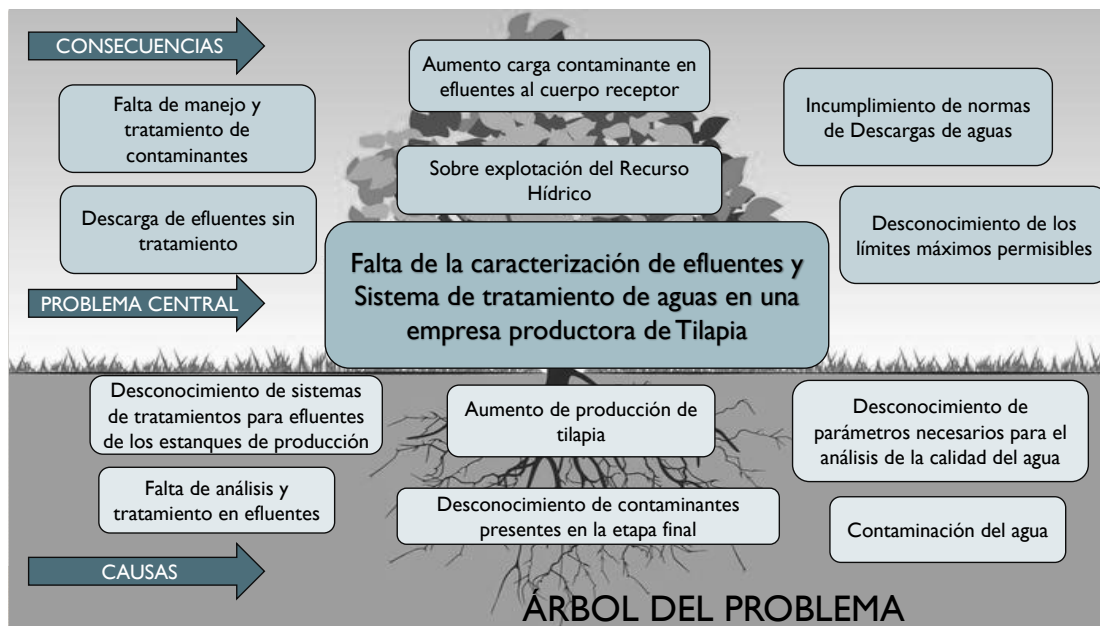
Teniendo en cuenta la implementación eficiente y sostenible de los humedales artificiales a gran escala, los estudios futuros deben centrarse en una evaluación integral de plantas y sustratos en ensayos de campo en condiciones reales, optimización de parámetros ambientales y operativos, exploración de nuevas tecnologías de mejora y estrategias de mantenimiento.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

La empresa productora de tilapia genera aguas residuales que se descargan en un río cercano sin tratamiento previo, actualmente no conoce la calidad del efluente, por lo cual no es posible compararlos con los límites máximos permitidos por normativa nacional vigente y determinar si se está cumpliendo con la misma. Tampoco cuenta con un estudio técnico para la adaptación y construcción de un sistema de tratamiento adecuado a las necesidades específicas del sistema de producción y económicas para la empresa.

Figura 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia, utilizando Power Point.

3.2. Formulación del problema

El hecho anteriormente descrito hace necesario una propuesta de tratamiento del agua, económicamente viable y sostenible al aumento de la producción, con la adaptación de medidas de mitigación para el impacto que genera esta actividad de producción animal, cumpliendo con los límites máximos permisibles del reglamento de descargas y reuso, que con lleve a que el recurso sea utilizado con responsabilidad. Lo que nos lleva a generar las siguientes preguntas para la solución del problema.

Pregunta central

¿Cuáles son los parámetros en el efluente de la empresa productora de tilapia, que incumplen con el reglamento de aguas residuales y qué medidas de mitigación deben de implementarse?

Preguntas auxiliares

Para responder la interrogante principal se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuál es la carga contaminante aportada por parte de la empresa productora de tilapia en función de la densidad de siembra?
- ¿Cuáles son las medidas de mitigación que pueden implementarse en las diferentes etapas de producción de tilapia?
- Según los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 ¿Qué alternativas de sistemas de tratamiento de agua residuales pueden

proponerse para el cumplimiento con los límites máximos permisibles de los parámetros antes mencionados?

3.3. Delimitación del problema

En este trabajo de investigación se realizará la caracterización físico, química y microbiológica del efluente del agua residual, evaluará el proceso de producción identificando puntos en los que se elevan parámetros fuera de la normativa para este tipo de aguas residuales, así mismo, se propondrán medidas de mitigación aplicando criterios de buenas prácticas de producción, seguido de la evaluación de alternativas de sistemas de tratamiento que sean eficientes y adecuados al tamaño de la granja, la determinación de calidad en el punto de abastecimiento y descarga para la disposición final, su cumplimiento según el índice de biodegradabilidad en el cuerpo receptor de la zona de estudio.

4. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo se justifica en la línea de investigación del área ambiental, en la gestión y manejo ambiental de impactos y medidas de mitigación en sistemas de aguas residuales, y ecosistemas acuáticos; en la gestión y tratamiento del agua en la disposición final de efluentes líquidos de la Maestría en Energía y Ambiente.

El objetivo de investigación será el aporte de una propuesta para un sistema de tratamiento de efluentes, de acuerdo con la carga contaminante y la identificación de medidas de mitigación del impacto generado por la actividad de una empresa productora de tilapia como ente generador nuevo, ubicada en Santa Cruz Muluá, departamento de Retalhuleu.

Con este trabajo se obtendrá las características del agua residual del sistema, la identificación de los parámetros que incumplen lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, y la propuesta de alternativas que puedan adaptarse mejor al sistema de producción.

El resultado del estudio de calidad del agua residual del sistema actual, dará evidencia del impacto de la actividad piscícola identificando medidas de mitigación para la reducción de la contaminación según el índice de biodegradabilidad del efluente en el cuerpo receptor para un sistemas de circuito abierto o flujo constante, aportando una solución factible desde el punto de vista técnico y económico para la empresa.

El sistema de tratamiento propuesto beneficiará a las comunidades cercanas que hacen uso del recurso hídrico, ya que la empresa podrá tener un estudio técnico para la implementación de una opción viable al tratamiento de las aguas residuales en cumplimiento con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, además de generación de empleo por la mejora productiva de la empresa.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer un sistema de tratamiento y medidas de mitigación para los parámetros que incumplen el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para los efluentes generados en una empresa productora de tilapia.

5.2. Específicos

- Evaluar la calidad del agua residual del proceso productivo de tilapia con respecto los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, de acuerdo con el Artículo 21
- Determinar los incumplimientos con el acuerdo Gubernativo 236-2006 con respecto a los resultados de los parámetros de calidad del agua residual
- Definir las medidas de mitigación según las cargas contaminantes del efluente
- Según la caracterización de la Calidad de los efluentes generados por el sistema de producción de tilapia, evaluar diferentes tecnologías de tratamiento

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Una de las actividades de producción animal de mayor crecimiento en Guatemala, es el cultivo de tilapia; este auge se ha proyectado en distintas regiones donde se aprovechan diversas fuentes de agua; como ríos, lagos y nacimientos debido a su bajo costo en la captación y la abundante disponibilidad. En este documento, se revisarán los diferentes tipos de producción y el impacto de diferentes constituyentes en relación a la tendencia actual de la industria de la acuicultura, como la intensificación de los sistemas de producción y recirculación.

El estudio de la calidad del agua residual del sistema es de vital importancia ya que nos permite identificar los parámetros indispensables para la caracterización de los efluentes de la empresa productora de tilapia, y así considerar no sólo las necesidades actuales sino también futuras en caso del aumento de la producción, y los cambios que puedan afectar la operación anual en cuanto cantidad y calidad del cultivo de peces.

La caracterización de la calidad del agua dará los criterios necesarios para las diferentes propuestas de sistemas de tratamiento; se realizará una revisión bibliográfica intensiva para que sean eficientes y conlleven a disminuir la concentración de los parámetros contaminantes establecidos en el reglamento de descarga y reúso de aguas residuales. El sistema de producción actual se definirá mediante la revisiones bibliográficas como el *Manual de Buenas Prácticas de Manejo para la Piscicultura en Agua Dulce* (Vidal-Martinez, et al., 2017) y la base para las actividades piscícolas de FAO, 2003. La concentración de cada parámetro que cumpla con los límites máximos permisibles, establecidos

en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, se comparará con las definiciones de manejo según el libro *Gestión de Calidad del Agua, en Acuicultura en estanques* de Boyd y Tucker, 2000.

Este trabajo hará una revisión bibliográfica intensiva para la propuesta del diseño de un sistema y alternativas tecnológicas de tratamiento para efluentes líquidos de los estanques, como base para que las actividades piscícolas puedan llevar un desarrollo y producción sostenible en el tiempo, implementando de mitigación en cada etapa de producción, así como métodos de tratamiento técnicamente apropiados, de fácil aplicación y económicamente viables y sostenibles al crecimiento de producción, así mismo el cumplimiento con el acuerdo gubernativo 236-2006 para la disposición final de los efluentes.

Según la gestión de residuos en orden de mantener niveles aceptables de descarga y reúso del agua, debemos conocer concentración de los contaminantes y los límites permisibles de dichos parámetros, así como el caudal y tiempo de retención hidráulico en el sistema de tratamiento, antes de la deposición final, lo que nos permitirá definir una propuesta del sistema de tratamiento y hacer recomendaciones específicas para el aprovechamiento sustentable de los recursos y el mantenimiento de la actividad piscícola.

7. MARCO TEÓRICO

A nivel mundial, la piscicultura se ha incrementado exponencialmente en las últimas tres décadas, dando como resultado un crecimiento económico y social para los sectores dedicados a esta actividad, favoreciendo a la generación de empleos y en la obtención de alimentos para consumo humano, ricos en proteínas de alta calidad (FAO, 2012).

7.1. Sistemas de producción piscícola

Existen varios tipos de producción piscícolas que podemos clasificar por medio de diferentes metodologías de producción en relación con la cantidad de agua utilizada:

- Estanques de tierra (sin flujo de agua)
- Sistema de circuito abierto (de flujo constante)
- Sistema circuito Semiabierto
- Sistemas de recirculación SAR (en circuito cerrado)
- Crianza en jaulas

7.1.1. Sistema de circuito abierto con flujo constante

Los sistemas de circuitos abiertos son caracterizados por un flujo constante de agua que pasa a través del área de captación a cada estanque de producción una sola vez para suministrar oxígeno a los peces, luego es descargada al ambiente conteniendo partículas en suspensión y residuos.

En producciones intensivas donde hay más de una explotación en el mismo curso del río, es importante que la calidad del efluente del sistema sea aceptable para el siguiente sistema de producción. Por esta razón el agua que se toma del río, se distribuye a través de la explotación y se trata el efluente antes de ser liberado al cauce. En cuanto al tipo de explotación el cambio del agua es realizado en una tasa de hasta 50 % o más del volumen total por hora.

7.1.2. Sistemas de recirculación en circuito cerrado

Los sistemas acuícolas de recirculación (SAR) son instalaciones en tierra que tienen por objetivo reducir las necesidades de agua y las emisiones de nutrientes al medio ambiente, reciclando y reutilizando constantemente el agua mediante tratamientos mecánicos y biológicos. En los inconvenientes se destacan sus elevados costos de inversión y operativos, así también la necesidad de realizar una gestión de explotación muy cuidadosa y las dificultades en el tratamiento de enfermedades, pero su principal ventaja es el ahorro de agua y energía, y la facilidad con que se puede llevar un control de la calidad del agua donde se reducen a su vez el impacto ambiental en estos sistemas de producción.

7.2. Aspectos generales de la acuicultura

El tipo de producción en la piscicultura puede ser extensiva, semiintensiva, intensiva y súper intensiva, ya esto es dependiendo el manejo y del uso de los recursos que se utilizan en esta actividad.

La producción extensiva se da cuando el sistema se implementa en cuerpos de aguas tales como ciénagas, cauces de río, lagunas, lagos, entre otros, como lo son sistemas de crianza en jaulas. La producción intensiva es por

medio de estanques. Pueden ser de membrana, de concreto o incluso de tierra, los cuales son diseñados con características específicas para que pueda desarrollarse, controlarse y manejarse el cultivo de peces.

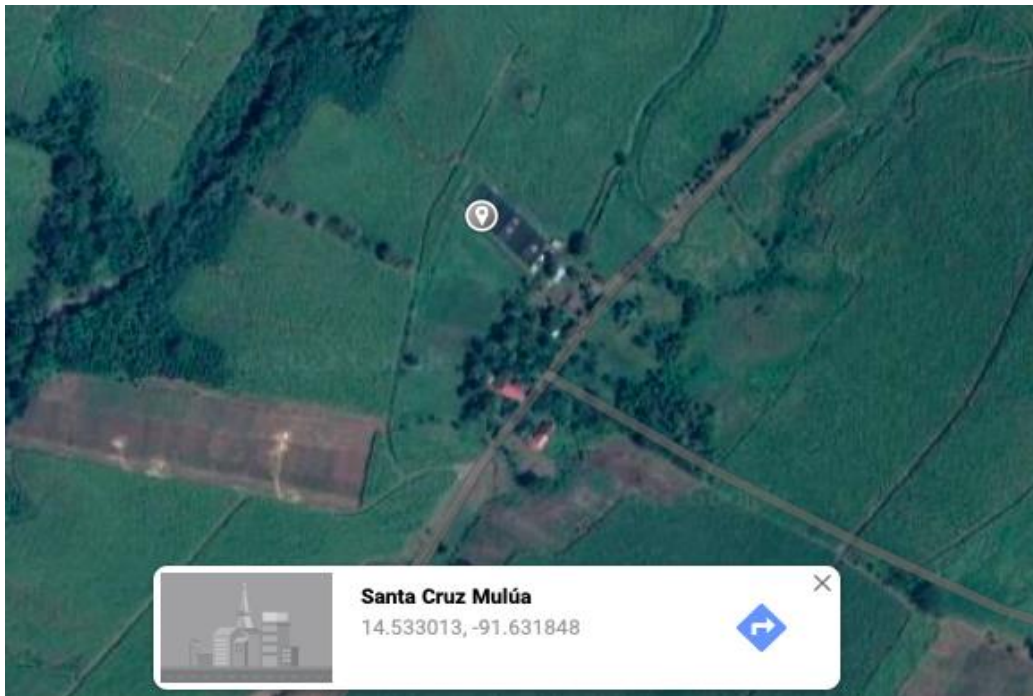
7.3. Generalidades de la empresa de estudio

La empresa se dedica a la producción de tilapia, tiene dos años de funcionamiento, por lo cual según el reglamento nacional se cataloga como un ente generador nuevo, y debe adoptar los límites máximos permisibles para la descarga de los efluentes en un cuerpo receptor según el Artículo 21. Actualmente se desconoce la calidad del agua que entra al sistema de producción de la empresa, así como la descargada al cuerpo hídrico de la zona de estudio, la cual no recibe ningún tratamiento previo a su disposición final. Debido a que se necesita realizar la correspondiente inscripción legal con las autoridades competentes, la empresa necesita realizar estudios de impacto de las descargas al medio ambiente y el diagnóstico del sistema productivo para los permisos respectivos en el cuadro legal.

7.3.1. Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en el municipio de Santa Cruz Muluá, departamento de Retalhuleu.

Figura 2. **Ubicación de la empresa**

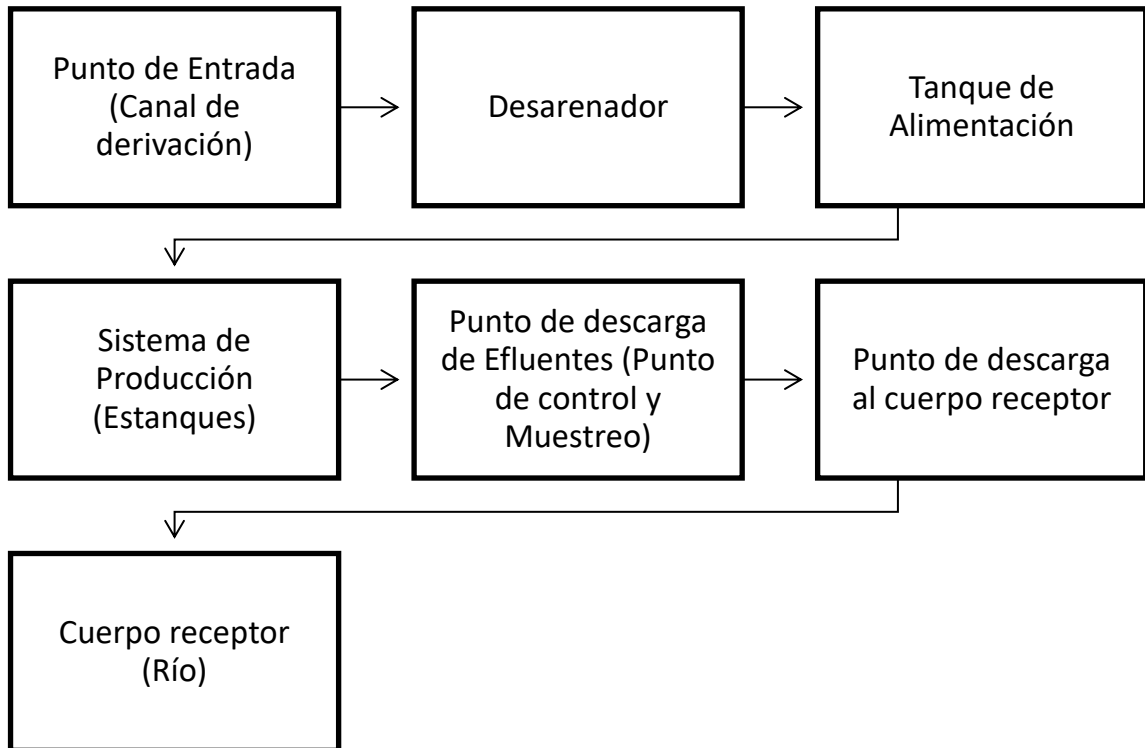


Fuente: Google Earth. (2021). Consultado el 12 de agosto de 2021. Recuperado de https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.earth&hl=es_GT&gl=US.

7.3.2. Descripción de la empresa

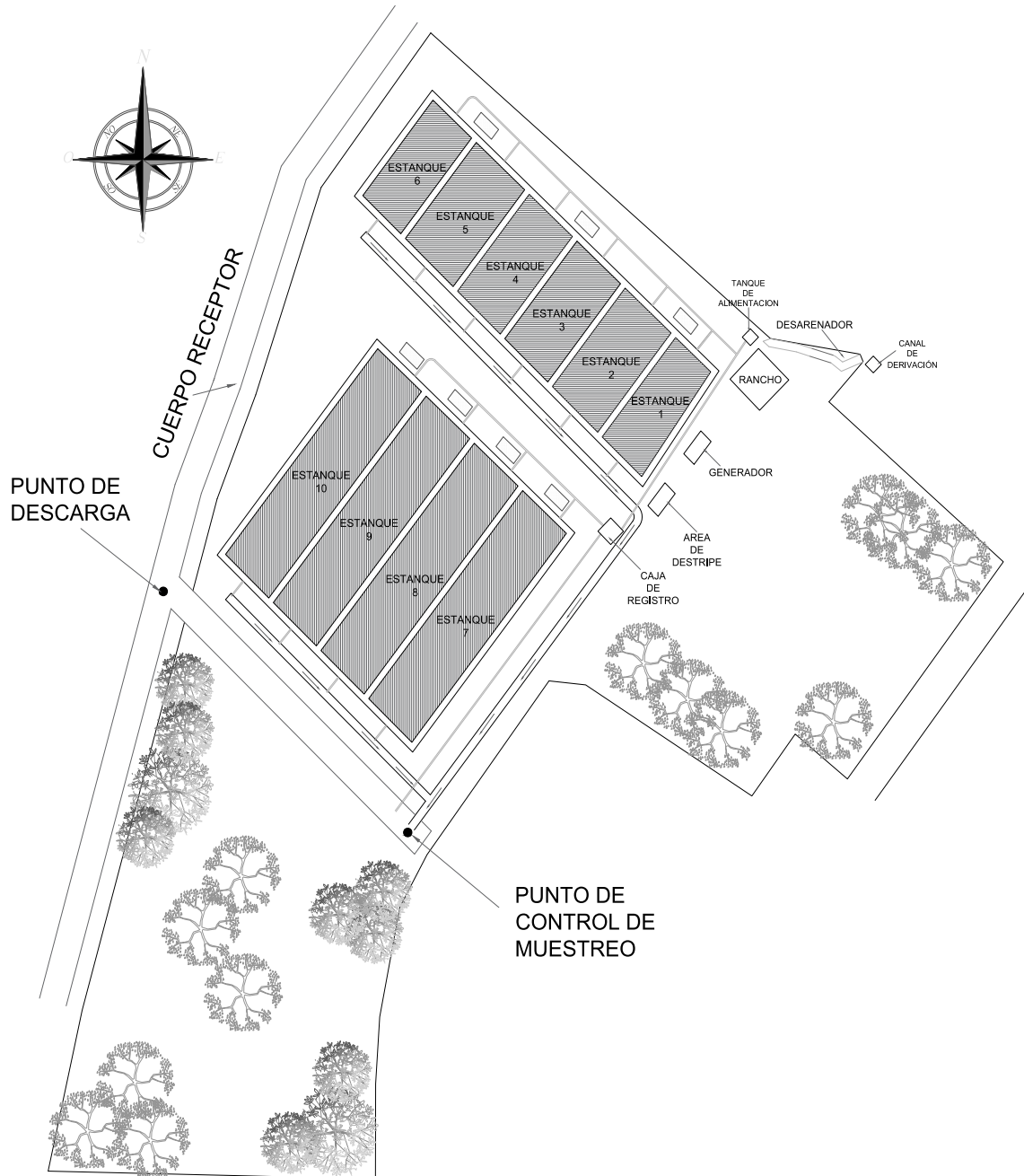
La empresa cuenta con un sistema de producción de circuito abierto (flujo constante), donde el abastecimiento proviene de un canal de derivación la cual ingresa a un desarenador y después al tanque de alimentación que distribuye el agua a todo el sistema de estanques por medio de gravedad. Está comprendida en dos etapas como se muestra en la figura 3. Los estanques No. 1 al 6, tienen una capacidad para siembra de 25,000 unidades, y un área de 360 m²; los estanques No. 7 al 10, tienen una capacidad para siembra de 85,000 unidades en un área de 975 m².

Figura 3. Diagrama del abastecimiento del agua al proyecto



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Esquema del proyecto



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

7.3.3. Cultivo de tilapia

La especie utilizada en la empresa es la *Oreochromis Niloticus*, conocida como la tilapia de Nilo. Muy utilizada en cultivos por medio de estanques. Se obtienen en la etapa de alevines y se desarrollan en un periodo aproximado entre 80 a 180 días. Dentro de sus características es que puede vivir hasta 10 años, llegar a tener hasta 60 cm de largo y pesar hasta 5 kg, sin embargo, para fines comerciales, el peso adecuado es entre 300 a 600 g.

7.3.4. Etapa de engorde

Esta etapa es el tiempo en el cual la tilapia alcanza su talla comercial, existen diferentes factores que pueden afectar esta etapa como lo son la concentración del oxígeno, la temperatura del agua, densidad de la siembra, así como el tiempo de retención del agua que pueda afectar su calidad (Boyd, 1997). Para la empresa donde se realiza el estudio se espera que superen 600 gramos, en un periodo no mayor de 120 días.

7.3.5. Etapa de cosecha

La cosecha es una etapa del proceso productivo final, cuando el cultivo ha alcanzado el tamaño ideal para su comercialización. Por lo general se utilizan atarrayas para ir cosechando la tilapia por etapas. Cuando debe de cosechar un alto porcentaje se hace necesario el desagüe del estanque, para poder atrapar con mayor facilidad los peces.

7.3.6. Alternativas de alimentación

Para alcanzar una óptima producción, es necesario que el alimento de los peces sea completo a las necesidades nutricionales de la tilapia. La dieta es costosa ya que es rica en proteínas y nutrientes; los requerimientos varían según la etapa de crecimiento. El mayor costo de la producción es el del alimento, por lo que muchas veces la reducción de los costos va a depender de la adaptación de dietas complementarias, que sean más simples y económicas.

Por ejemplo, pueden utilizarse hojas de plantas, semillas oleaginosas, salvado de arroz y otros residuos provenientes de la industria aceitera y cervecera que influyen para alcanzar el peso comercial ideal de los peces.

7.4. Calidad del agua en la piscicultura

Para establecer la calidad del agua deben determinarse primero los elementos de la muestra en suspensión, el pH y la temperatura de las cuales obtienen características propias que permiten determinar un tipo de agua con otra. Por ejemplo, los rangos óptimos para el desarrollo de las tilapias representada en la tabla I, nos indica la calidad del agua mínima a la entrada de los estanques del sistema productivo.

Tabla I. **Rangos óptimos para el desarrollo de tilapias**

PARÁMETROS	RÁNGOS OPTIMOS PARA LA PRODUCCIÓN
Temperatura	25.0 - 32.0 °C
Oxígeno Disuelto	5.0 - 9.0 mg/L
pH	6.0 - 9.0
Alcalinidad	50 - 150 mg/L
Dureza	80 - 110 mg/L
Calcio	60 - 120 mg/L
Nitritos	0.1 mg/L
Nitratos	1.5 - 2.0 mg/L
Amonio Total	0.1 mg/L
Hierro	0.05 - 0.2 mg/L
Fosfatos	0.15 - 0.2 mg/L
Dióxido de Carbono	5.0 -. 10 mg/L
Sulfuro de Hidrógeno	0.01 mg/L

Fuente: Boyd (1997). *Water Quality in Warmwater Fishpond.*

7.4.1. Medición de calidad del agua

Los métodos más empleados para actividades piscícolas son: parámetros físicos y químicos como, por ejemplo, la concentración de oxígeno disuelto, la concentración de compuestos con nitrógeno y fósforo (como los nitratos y los fosfatos). De acuerdo con la tabla I, se puede identificar los parámetros en que debe mantenerse el sistema para el buen desarrollo del cultivo, estos son controlados directamente en los estanques.

7.5. Parámetros físicos

Son determinados por los sentidos. No son medidas precisas del nivel de contaminación, pero su presencia es un indicio de que la depuración del efluente no es adecuada.

7.5.1. Temperatura

Este parámetro físico es importante analizar ya que esta condición climática influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación, sedimentación y filtración. Para la reproducción del cultivo de tilapia, puede decirse que un rango óptimo va desde 26 hasta 29 °C, y su etapa de engorde puede ir desde 24 a 32 °C.

7.5.2. Turbidez

La tilapia tiene la capacidad de adaptarse a aguas de diferente calidad y composición. Según Boyd y Tucker (2000) la turbidez tiene dos tipos de efectos: uno sobre el medio y se debe a la dispersión de la luz y el otro actúa de manera mecánica sobre los peces. Los estanques no deben tener una turbidez mayor de 25 mg/L.

7.6. Parámetros químicos

Son medidas más precisas de medir la calidad del agua, determinados generalmente por medio de un laboratorio e instrumentos especiales.

7.6.1. Salinidad

La salinidad no es una concentración de cloruro de sodio, se refiere a las concentraciones totales de todos los iones en el agua como sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, sulfato y bicarbonato. Cada especie tiene una tolerancia a la salinidad por ejemplo las tilapias tienen la capacidad de vivir en aguas salobres.

7.6.2. Oxígeno

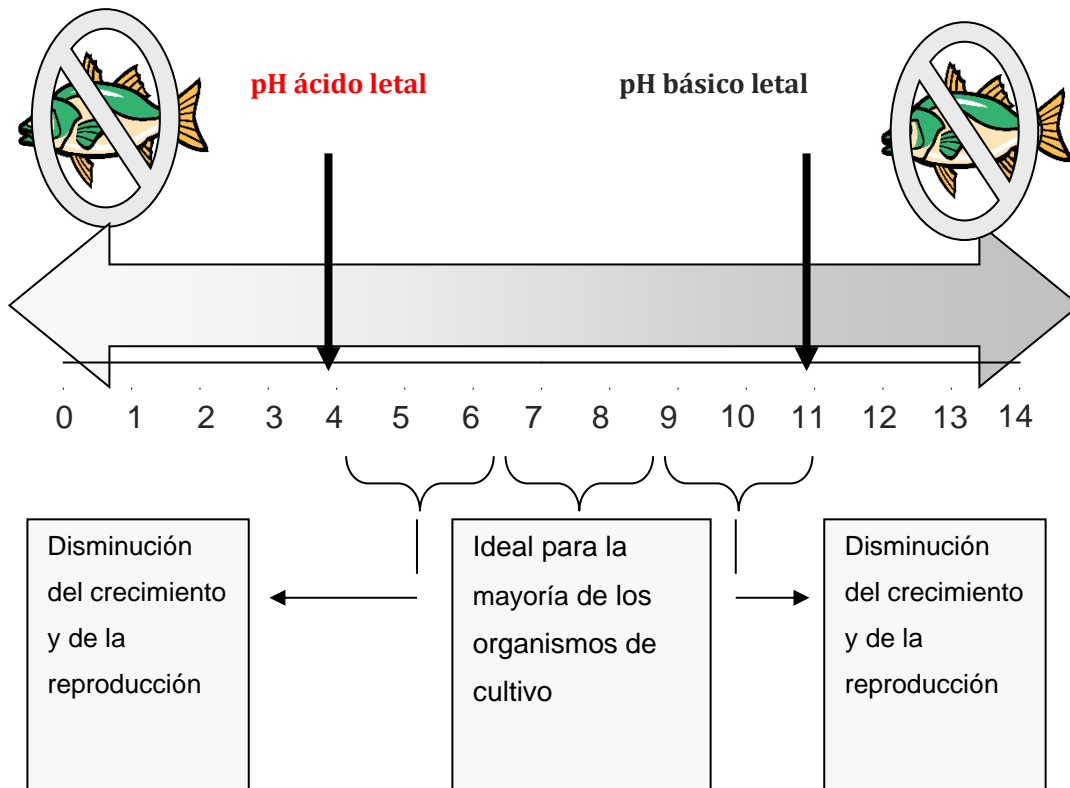
Es un parámetro indispensable en el proceso de reproducción, requerido por los peces para su metabolismo. Una deficiencia o fluctuación marcada de este puede provocar alta mortalidad, deficiencia del crecimiento, y la susceptibilidad a enfermedades, lo cual resulta en mayor tiempo de crianza y costos para la empresa.

Las tilapias pueden desarrollarse en concentraciones de OD de 5 mg/L; Una característica que tienen este tipo de peces es la capacidad de reducir su consumo de oxígeno disminuyendo su metabolismo cuando las concentraciones del medio cuentan con valores inferiores a 3 mg/lit.

7.6.3. Potencial de hidrógeno (pH)

Los niveles óptimos para el desarrollo de la tilapia son de pH son de 6.6 hasta 7.5; al mantener estos niveles en el estanque los peces tienen una mejor condición aumentando la productividad. Su medición puede realizarse por medio de un potenciómetro, directamente en el campo de estudio.

Figura 5. Representación esquemática del pH y la tilapia



Fuente: Vinatea (2006). *Principios Químicos de la Calidad del Agua en la acuicultura*.

7.6.4. Fosfatos

El proceso de eutrofización es un indicador que existe contaminación de nutrientes como fosfatos, los cuales al tener una alta concentración produce el crecimiento de algas, las cuales después de descomponerse por un proceso de oxidación, reduce el oxígeno disuelto afectando directamente a peces y organismos vivos presentes en el agua.

7.6.5. Amoníaco (NH₃), nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃)

El amoníaco puede influir en la productividad de los estanques, siendo este uno de los principales productos nitrogenados de desecho de los peces. Los tilapias excretan cantidades significativas de urea, pero se hidroliza rápidamente en el medio ambiente a amoníaco y dióxido de carbono.

Es necesario considerar el amoníaco (NH₃), ya que tiene una alta toxicidad. Los niveles de amoníaco en los cultivos no deben superar 1-2 mg de nitrógeno amoniacal no ionizado. El efecto general de la exposición crónica al amoníaco conlleva a un crecimiento reducido y una mayor susceptibilidad a enfermedades infecciosas en los peces.

Tanto el amonio, como los nitritos y nitratos pueden ser determinados por espectrofotometría de adsorción.

7.6.6. Pesticidas y antibióticos

El uso de antibióticos, pesticidas, químicos entre otros, en la actividad piscícola debido a tratamiento de enfermedades, control de maleza, entre otros pueden llevar a una contaminación elevada, ya que llegan a los cuerpos hídricos afectando su flora y fauna. Por lo que es indispensable el tratamiento de estos efluentes, como parte de la reducción del impacto ambiental derivado de esta actividad.

7.6.7. Características residuos sólidos

La materia orgánica es uno de los residuos provenientes de las excretas de los peces, restos de alimento, que se convierten en lodos. Este tipo de

residuos pueden conducir a la eutrofización de las aguas ya que tienen una elevada demanda biológica de oxígeno, así como niveles elevados de fósforo y nitrógeno llevando a un fenómeno visto en la contaminación de cuerpos hídricos; la eutrofización de la zona puede ser un problema de salud públicas a comunidades que hagan uso de estas aguas.

7.6.8. Características residuos líquidos

En la producción de peces como tilapia, dada la materia prima que se utiliza y el medio en que se desarrollan, las bacterias aerobias que producen descomposición generan gases como amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano causantes de los olores típicos de esta actividad, afectando los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Este tipo de residuo es un factor de contaminación importante para los cuerpos receptores.

7.7. Impacto ambiental del efluente

El impacto de la piscicultura depende mayormente de la especie, el método de cultivo, la carga o densidad de la producción, la alimentación y las condiciones hidrológicas, por lo cual el diagnóstico del proceso productivo es vital para la identificación del impacto ambiental.

Según Borja, (2002) Dentro de los principales indicadores de impactos ambientales de la acuicultura, se encuentran:

- Cantidad de suelo usado
- Cantidad de energía utilizada
- Fracción animal complementaria
- Cantidad de químicos utilizados

- Cantidad de agua descargada
- Demanda bioquímica de oxígeno en efluentes
- Proteína de alimentación suplementaria usada
- Nitrógeno de amoníaco total en efluentes
- Cultivo de especies introducidas (no nativas)

El impacto producido por los efluentes piscícolas puede llegar a ser significativos, debido a la alimentación y altos requerimientos de la tilapia, que conlleva a una concentración de nutrientes en el agua. Este impacto puede ser definido por métodos de análisis cuantitativos y cualitativos determinando la composición fisicoquímica del efluente, entre los más importantes a tomar en cuenta los sólidos totales suspendidos, olor, turbidez, la disponibilidad química y biológica de oxígeno, nitrógeno y fósforo.

7.8. Regulaciones Ambientales Nacionales sobre la Descarga de Aguas Residuales “Acuerdo Gubernativo 236-2006”

Hay artículos importantes que deben de ser considerados en regulaciones ambientales para la descarga de aguas derivados de la empresa piscícola. Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la materia de este estudio se considerarán los siguientes:

Artículo 1. Objeto

Establece los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso 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:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

Artículo 13. Caracterización del afluente y del efluente de aguas residuales

La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas en un cuerpo receptor o al alcantarillado público, deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales e incluir los resultados en el estudio técnico.

Artículo 16. Parámetros de Aguas Residuales

Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son los siguientes:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| • Temperatura | • Demanda bioquímica de oxígeno |
| • Potencial de hidrógeno | • Demanda química de oxígeno |
| • Grasas y aceites | • Nitrógeno total |
| • Materia flotante | • Fósforo total |
| • Sólidos suspendidos totales, | • Arsénico |

- Cadmio
- Cianuro total
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc
- Color
- Coliformes fecales

Artículo 21. Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos

Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. En el caso de que el parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

Tabla II. Límite máximo permisible para entes generadores nuevos

Parámetros	Dimensionales	Límites máximos permisibles
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	20
Fósforo total	Miligramos por litro	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1
Cobre	Miligramos por litro	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: Acuerdo gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

Artículo 34. Autorización de reúso

El presente reglamento autoriza los siguientes tipos de reúso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan.

Tipo III: reúso para acuicultura: uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Artículo 35. Parámetros y límites máximos permisibles para reúso

El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

Tabla III. **Parámetros y límites máximos permisibles para reúso**

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$

Fuente: Acuerdo gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

7.9. **Parámetros de calidad del agua residual**

La medición de la calidad del agua residual es indispensable y obligatorio para todo ente generador nuevo, de aguas residuales tipo especial, ya que nos permiten evaluar los posibles efectos adversos al medio ambiente de un determinado cuerpo de agua.

En el Acuerdo Gubernativo 236-2006, se describen los parámetros que son indispensables para la determinación de la calidad del agua residual, y son una herramienta para diagnosticar los posibles incumplimientos a los límites máximos permisibles del Artículo 21.

7.9.1. Temperatura

Esta condición climática es considerada como parte importante para el cumplimiento del reglamento de las aguas residuales. La temperatura en el punto de descarga no debe exceder +/- 7 grados de la temperatura del cuerpo receptor (TCR). La toma de la temperatura se hace In Situ al momento de la toma de muestra en el punto de descarga, por medio de un termómetro.

7.9.2. Grasas y aceites

El tipo más común de grasa es aquél en que tres ácidos grasos están unidos a la molécula de glicerina, recibiendo el nombre de triglicéridos o 'triacilglicéridos'. El límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de 10 mg/L.

7.9.3. Materia flotante

Se le puede llamar a cualquier objeto que visiblemente se encuentre flotando libremente en un líquido, sin importar su forma o su composición y que se pueda retener en una malla de claro libre cuadrado de 3 mm.

7.9.4. Sólidos suspendidos

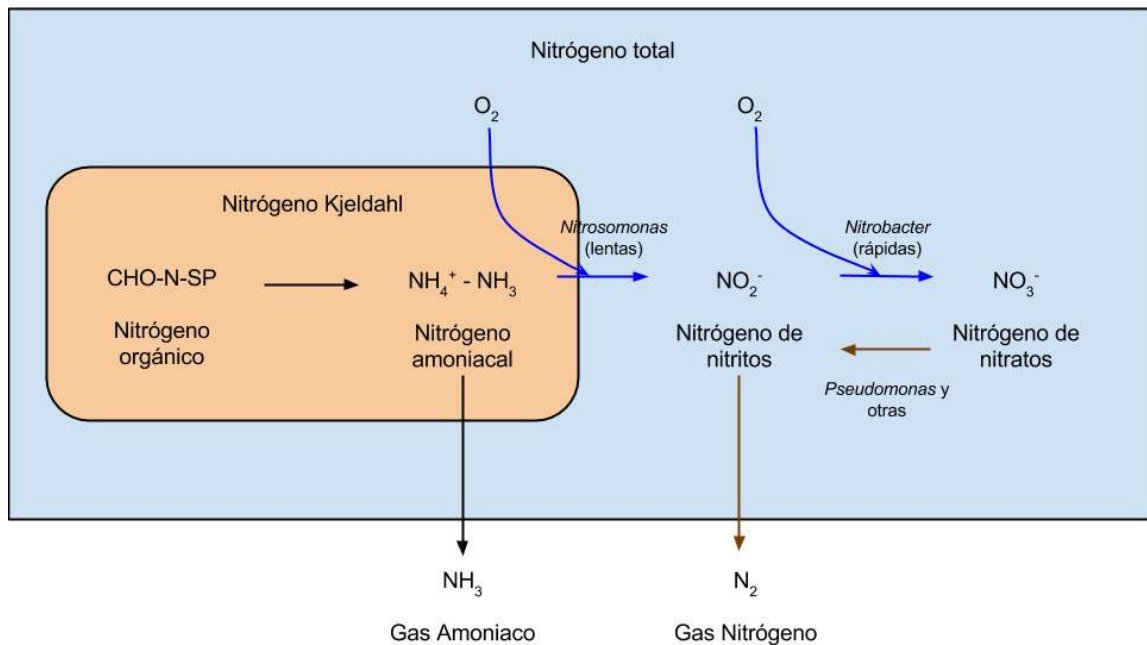
Se entiende por total de sólidos en suspensión (SST) a un parámetro para la clasificación de aguas residuales, que indica la cantidad presente de sólidos presentes y en suspensión en un determinado volumen de agua. Pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua. Se

expresa en mg/L según el Artículo 21 para entes generadores nuevos no debe de exceder los 100 mg/L.

7.9.5. Nitrógeno total

Es el conjunto de todas las formas de nitrógeno, como lo son la urea, amina, los ácidos nucleicos, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal y iones de nitritos y nitratos que contiene el agua residual. Es un parámetro de calidad muy importante para industrias con descargas directas a cuerpos hídricos, para determinar qué tipo de tratamiento debe de emplearse, ya que una alta presencia de este puede representar impactos ambientales negativos en toda la zona de descarga. El límite máximo permitido es de 20 mg/L para descargas a cuerpos receptores.

Figura 6. Diagrama de nitrógeno



Fuente: Consorcio de aguas. (s.f.) *Eliminación del nitrógeno en las aguas residuales.*

7.9.6. Fosfato total

Los fosfatos y compuestos de fósforo se encuentran en las aguas naturales en pequeñas concentraciones. Para la determinación de fosfato total debe de sumarse en todas sus formas como lo es el fósforo orgánico, polifosfato y ortofosfato el cual por lo general es el de mayor carga. El límite máximo establecido por el reglamento es de 10 mg/L.

7.9.7. Potencial de hidrógeno (pH)

Según Sornsen, (1934) el potencial de hidrógeno es el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones; el término pH ha sido utilizado universalmente por la facilidad de su uso. Es una medida que indica la alcalinidad o acidez de una disolución. El valor medido del potencial de hidrógeno debe estar en el rango establecido en el Acuerdo Gubernativo el cual no debe ser menor a 6.0 o mayor a 9.0.

7.9.8. Coliformes fecales

Este término se refiere a un conjunto de patógenos que provienen del tracto intestinal, puede ser de animales o humanos. Su presencia indica que el agua no es apta para el consumo, ya que se refiere a una contaminación de origen fecal, este conjunto de patógenos pueden ser bacterias como la *E. Coli*, una de la mayor causante de enfermedades gastrointestinales. Por lo que es necesaria su determinación para saber si el agua es bacteriológicamente segura. El resultado para el cumplimiento con la normativa para entes generadores nuevos no debe tener una concentración mayor a 1×10^4 de por cada 100 mL de agua de la descarga.

7.9.9. Arsénico

Es un elemento de la tabla periódica, semimetálico sólido, se puede encontrar en pequeñas concentraciones de manera natural en la tierra. Lo encontramos en las aguas superficiales ya que se utiliza mucho en la industria, durante la producción de plomo y zinc y en la agricultura. Es importante su detección para el análisis de agua residuales ya que altas concentraciones de arsénico inorgánico pueden alterar genéticamente a los peces, y las plantas pueden absorber fácilmente. El límite máximo según la normativa es 0.1 mg/L.

7.9.10. Cadmio

Se considera un metal altamente tóxico, es obtenido la que se obtiene casi exclusivamente como subproducto en el refinado de los minerales de Zinc; utilización en aleaciones para la fabricación de extintores, alarmas de incendios y fusibles, en soldadura, entre otros. Según la normativa no debe exceder 0.1 mg/L.

7.9.11. Cianuro

Es un producto químico, compuesto de un átomo de carbono conectado por tres enlaces a un átomo de nitrógeno, es venenoso. Puede encontrarse en algunos alimentos de manera natural, y producirse por medio de bacterias, algas u hongos, se encuentra en las aguas residuales mayormente por la actividad industrial, uso de pesticidas. Se puede encontrar en formas como el cianuro de hidrógeno, potasio o sodio. Es peligroso ya que la concentración donde comienza a ser tóxico es cercana a la detectada por nuestro olfato, el límite máximo permitido es de 1 mg/L.

7.9.12. Cobre

Este es un metal muy utilizado en la industria por sus características, ya que es un buen conductor de electricidad muy resistente a la corrosión y el calor. Tiene un color rojizo brillante, muy maleable y dúctil. Lo utilizan por ejemplo para la fabricación de maquinaria eléctrica, aleaciones con latón, estaño y bronce, así como en los cables de líneas de alta tensión. Su límite no debe sobre pasar los 3 mg/L.

7.9.13. Cromo hexavalente

Es un metal que se halla espontáneamente en el agua, el suelo y las rocas. También se le encuentra en los cultivos y como elemento remanente en los suelos agrícolas. Además, hay niveles altos del cromo en el medio ambiente, el cual proviene de la actividad industrial. Se sabe que el cromo hexavalente es cancerígeno por inhalación. Los riesgos potenciales del cromo hexavalente en la actividad industrial han sido ampliamente documentados. Muchos estudios han revelado altas tasas de cáncer de pulmón en operarios expuestos a la inhalación del cromo +6, así como un incremento de la tasa de cáncer de tracto gastrointestinal. El límite máximo permisible en la normativa es de 0.1 mg/L.

7.9.14. Mercurio

Es un metal líquido a temperatura ordinaria, de color plateado, brillante y denso, que se encuentra en la naturaleza en estado puro así mismo en combinación con plata o con mercurio llamado como amalgamas. Su uso principal es en la fabricación de termómetros y barómetros. Tiene un límite máximo permisible de 0.1 mg/L.

7.9.15. Níquel

Es un metal duro, maleable, resistente a la oxidación y con propiedades magnéticas; se utiliza por sus características en diferentes aleaciones (como el acero) las cuales aportan dureza y resistencia a la corrosión por lo cual es utilizado como revestimiento. Otro uso que se le da es para la fabricación de monedas. El límite manejado en la normativa es de 2 mg/L.

7.9.16. Plomo

El plomo es un metal pesado, color gris mate. Debido a las actividades humanas el riesgo de exposición se ha aumentado, es una sustancia altamente tóxica que puede causar efectos en la salud y bioquímica de los organismos. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. Es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. No debe de pasar el límite máximo de 0.4 mg/L.

7.9.17. Zinc

El zinc es un oligoelemento importante que las personas necesitan para mantenerse saludables. Entre los oligoelementos, este elemento se encuentra en segundo lugar solo después del hierro por su concentración en el organismo. Su concentración en las aguas residuales se debe mayormente a la fabricación de baterías, en la industria galvánica para evitar la oxidación y en aleaciones con cobre y latón. Otro uso común es como estimulante para crecimiento en la ganadería y agricultura. El límite máximo permisible en el Acuerdo es de 10 mg/L.

7.9.18. Color

El agua potable tiene la característica de ser incolora. La determinación del color no muestra una medición exacta del grado de contaminación, pero es recomendable medirla como color aparente que es el color que produce la materia suspendida y disuelta, y el color remanente color verdadero, que es indicado después de la eliminación del color aparente. El color puede determinarse por espectrofotometría o por comparación visual. Este último resulta más sencillo y consiste en la comparación de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. “El método estandarizado utiliza patrones de platino cobalto y la unidad de color (UC) es la producida por 1 mg/L de platino en la forma de ion cloroplatinato” (Lopez y Martin, 2015, p.227).

El límite máximo permisible del Acuerdo Gubernativo es de 500 unidades platino-cobalto.

7.9.19. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Es un parámetro para determinar la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas. Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que 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 según el artículo 21 del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 para entes generadores nuevos el límite máximo permisible es 200 mg/L.

7.9.20. Demanda química de oxígeno (DQO)

El oxígeno necesario para oxidar la totalidad materia orgánica y mineral presentes en el agua. Su procedencia puede ser biodegradable o no biodegradable. Nos da un indicativo del grado de contaminación del agua. Se determina directamente en un laboratorio y se mide en mg/L. Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, en el Artículo 18, es necesaria su determinación ya que su relación con la demanda bioquímica de oxígeno será otro indicador por evaluar para la determinación de la calidad del efluente.

7.9.21. Índice de biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad es un indicador para la calidad del agua residual. Se determina por medio de la relación DBO_5/DQO del efluente en el punto de descarga, a fin de determinar y evaluar si es necesario un tratamiento biológico para su disposición final.

Los valores se definen en la siguiente tabla.

Tabla IV. Índice de biodegradabilidad: DBO_5/DQO

DBO₅/DQO	CARÁCTER
>0.8	Muy biodegradable
0.7-0.8	Biodegradable
0.3-0.7	Poco biodegradable
<0.3	No biodegradable

Fuente: elaboración propia.

7.10. Sistemas de tratamiento de agua

Estos consisten en la adaptación de diferentes tecnologías de tratamiento del agua se dividen en etapas como pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario, dependiendo de la calidad a la que se quiere llegar para su disposición final. En la acuicultura existen diferentes técnicas y sistemas para su fácil adaptación al lugar de producción. Algunos de ellos se desarrollan a continuación.

Figura 7. Principales etapas de tratamiento aguas residuales en sistemas municipales, recirculación intensiva y acuicultura de tierra

Grupo	Tratamiento de Aguas Residuales Municipales		Tratamiento de Aguas en Sistemas de recirculación en la Acuicultura		Tratamiento de agua en la Acuicultura de Estanques de tierra		Nivel de Tratamiento
	Tecnología	Constitución	Tecnología	Constitución	Tecnología	Constitución	
Sólidos Sedimentables	Pantallas Cámaras de Arena Flotación	Sólidos grandes Sólidos Inorgánicos Grasas y aceites	Desague Central Filtración	Heces y pelets Grandes Partículas Suspensas	Lagunas de asentamiento	Heces y pelets	Pretratamiento
Super coloidales	Estanque de Sedimentación Remoción Mecánica de Lodos	Partículas Finas Lodos	Filtración	Partículas Finas	Tanques o estanques de sedimentación	Algas y bacterias floc	Primario
Coloidal y Disueltos	Sedimentación/digestión de lodos Estanques de oxidación biológica	Lodos Filtración Biológica	Fracturación de Espumas Filtración Biológica	Partículas Finas Nutrientes disueltos	Humedales Artificiales Plantas Acuáticas	Partículas Finas Nutrientes disueltos	Secundario
Microorganismos	Tratamiento UV / Cloración Tratamiento Químico	Patógenos Floc Bacterias, microalgas	Lámpara UV Ozonización	Patógenos Patógenos			Terciario

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de Castine, McKinnon, Paul, y Trott, (2013).

Wastewater treatment for land-based aquaculture: improvements and value-adding alternatives in model systems from Australia.

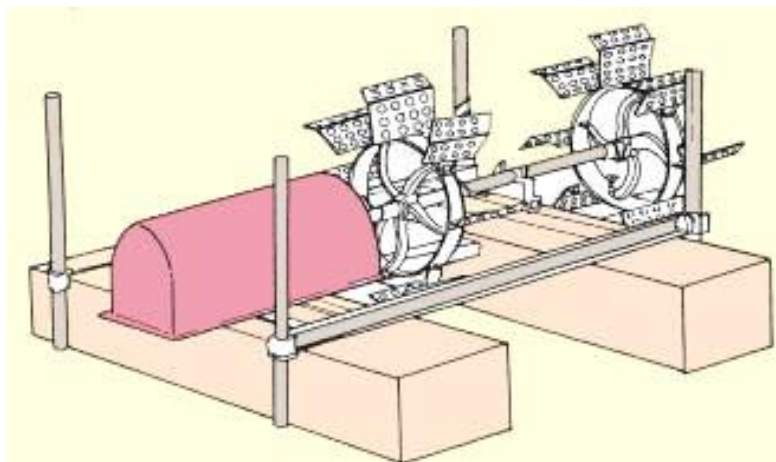
7.10.1. Aireadores y oxigenadores

En la acuicultura la aireación es ampliamente utilizada tanto para el desarrollo del cultivo como para el tratamiento del agua. Para la acuicultura intensiva es importante mantener los niveles de oxígeno disponibles en su máxima saturación, quiere decir a su máxima solubilidad a una temperatura dada.

7.10.1.1. Aireadores de paletas

Según FAO (2012), Los aireadores los cuales cuentan con un motor dentro de una carcasa flotante, tienen en ambos extremos instalados una rueda de paletas verticales con perforaciones en ambos extremos, las cuales son sumergidas parcialmente en el agua a una determinada profundidad, para que pueda levantar el agua y proyectarla de nuevo hacia la superficie del estanque ya pulverizada. En general tienen una potencia entre 0.5 a 2 kW. En el sistema de producción de la empresa se colocan en los estanques a partir de los 15 a 20 días de la siembra y son utilizados las 23 horas al día hasta su cosecha.

Figura 8. Aireador de paleta



Fuente: FAO, (2011). *Manual básico, mejora calidad del agua en los estanques.*

7.10.2. Filtración

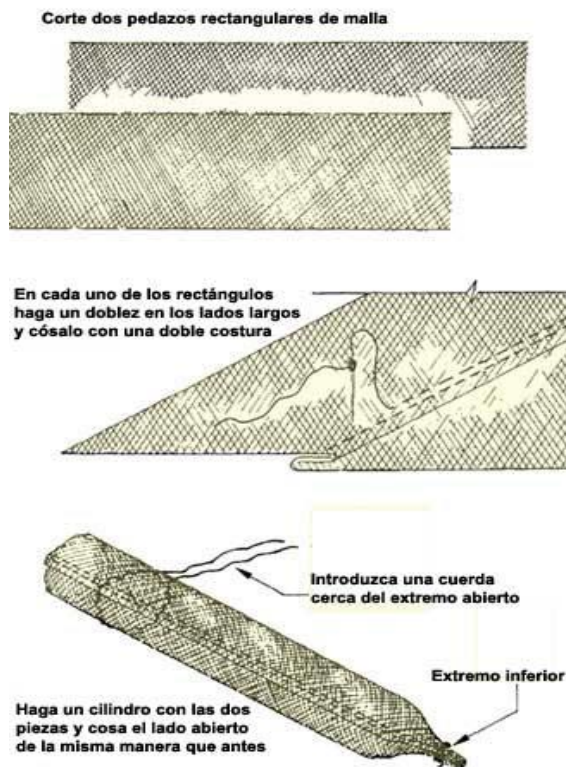
Por medio de la filtración podemos obtener la remoción de sólidos suspendidos grandes así también partículas finas, en la acuicultura es parte del pretratamiento y tratamiento primario de las aguas residuales. Podemos encontrar varios tipos de filtros, lo importante es utilizarlo específicamente según su principio básico de operación y la sustancia que se desea remover.

7.10.2.1. Filtros manga para tuberías

FAO (2012), describe este dispositivo, el cual es muy utilizado en la salida final del efluente de los estanques de producción, es un dispositivo de bajo costo y simple para su implementación, consiste en una malla de forma cilíndrica, asegurado alrededor de la tubería por un extremo y atado en el otro extremo con ayuda de una cuerda. Permite el paso de un gran volumen de agua, y también puede retener con eficacia huevos y larvas de los peces.

Normalmente es de una malla sintética, la cual es muy fina, conocida como sarán. Es importante el mantenimiento de esta debido al riesgo de atasco por alta turbidez o caudal del agua.

Figura 9. Filtro de manga

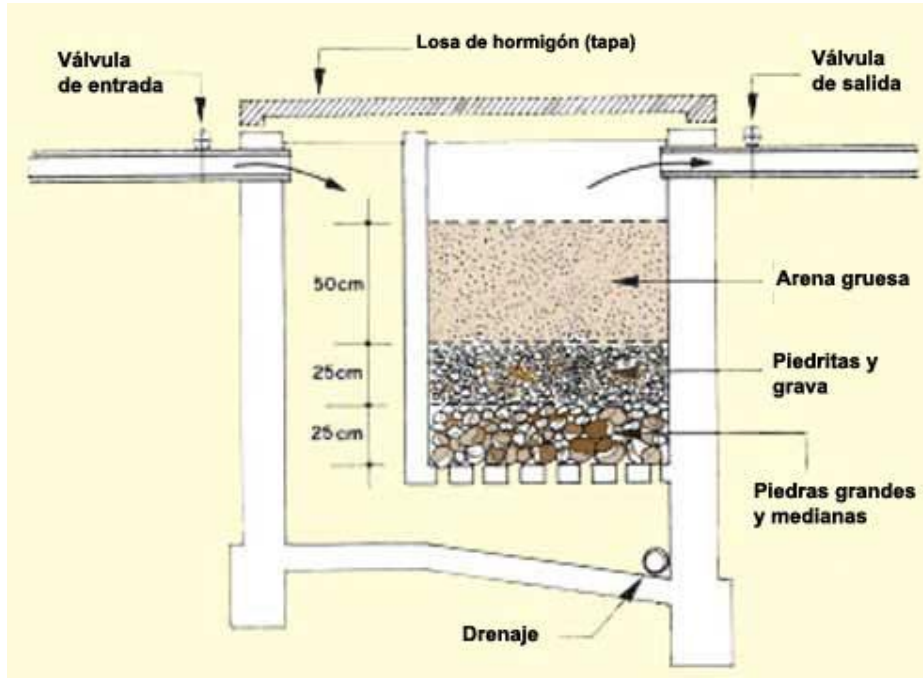


Fuente: Manual FAO. (2009). *Mejora Calidad del agua en los estanques. Sección 2.9.*

7.10.2.2. Filtros de flujo reversible

Es un filtro de mayor costo y complejo, requiere trabajo especializado de albañilería por su diseño debe de instalarse con cuidado y requiere reparaciones de alto costo. Según FAO, (2012) la ventaja de este filtro es que se puede invertir el flujo y lavar regularmente el limo y otras partículas depositadas en el material filtrante. Dicha inversión del flujo se debe llevar a cabo regularmente, incluso cada día, si la turbidez es muy elevada. La limpieza regular permite utilizar el filtro para eliminar las partículas muy finas. Es especialmente aconsejable si se tiene necesidad de agua muy limpia. Puede utilizarse a la entrada de los sistemas de producción.

Figura 10. **Esquema de filtro de flujo reversible**



Fuente: Manual FAO. (2009). *Mejora Calidad del agua en los estanques* Sección 2.9.

7.10.3. **Estanques de sedimentación**

Los estanques de sedimentación son efectivos retienen el agua por el tiempo necesario para que se asienten los sólidos suspendidos grueso su tamaño depende de la tasa del flujo de entrada y del tiempo de retención necesario para extraer los sólidos gruesos en el agua durante la fase final del drenado. Existen estudios en los que ha demostrado un porcentaje de remoción de entre 60 a 80 % para SST y de 15 a 30 % para DBO₅ en el tratamiento por estanques de sedimentación en un tiempo de 6 a 8 horas de retención del agua, lo que los hace un excelente método para el tratamiento de efluentes altamente concentrados y durante la etapa de cosecha (Boyd, 2001).

7.10.4. Humedales artificiales

Estos sistemas, se engloban dentro de sistemas de depuración natural. Estos sistemas se han consolidado alrededor del mundo como una buena alternativa para el saneamiento denominados también humedales construidos.

En el caso de los humedales artificiales su proceso operacional se basa en tres partes principales las cuales son el medio de soporte por medio del sustrato, la planta vascular o macrófita y los microorganismos que interaccionan entre sí permitiendo mecanismos físicos, químicos y biológicos que conllevan a una remoción de los contaminantes, estableciendo un funcionamiento parecido al de un humedal natural (Ramírez, 2009).

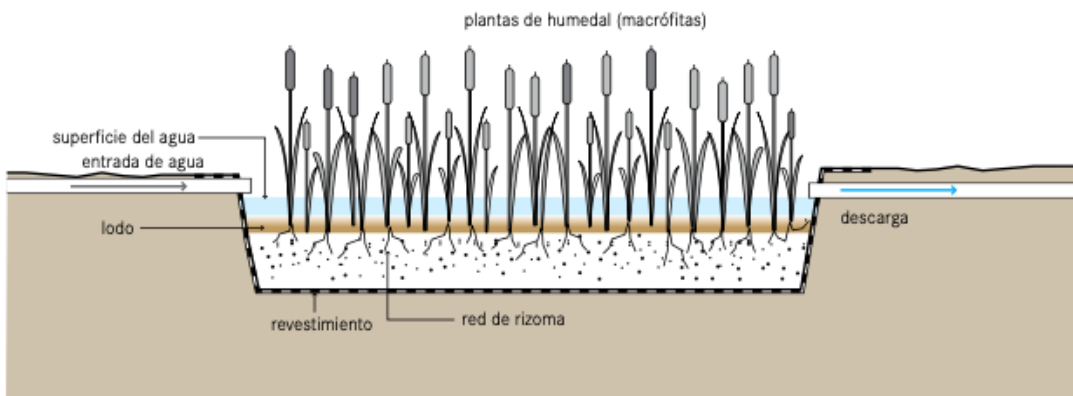
Entre las ventajas que tienen estos sistemas artificiales frente a los tratamientos convencionales, están sus reducidos costos de operación y la baja generación de subproductos no deseados; “los contaminantes son removidos por una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que se efectúan en el ambiente natural; entre estos procesos se encuentran la sedimentación, la adsorción a las partículas del suelo, la asimilación por las plantas y la transformación microbiana (Rivera, 2015).

Estos sistemas pueden clasificarse en función de varios parámetros de diseño, pero los tres criterios más importantes son la hidrología (flujo superficial y flujo subsuperficial), el tipo de macrófitas (emergentes, sumergidas o flotantes) y la trayectoria del flujo (horizontal o vertical).

7.10.4.1. Humedales artificiales de flujo superficial

Los humedales artificiales de flujo superficial (HAFS) son los más similares en apariencia a los humedales naturales. En estos sistemas más complejos donde el agua circula expuesta a la superficie entre las macrófitas. Por su parecido a los humedales naturales son utilizados, para el tratamiento, mayormente en una etapa terciaria, actualmente en la industria piscícola debido que cuenta con características específicas de tratamiento de efluentes derivados de esta actividad. Están compuestos por tres partes principales, el sustrato, los microorganismos y la vegetación (macrófitas).

Figura 11. Esquema de humedal artificial de flujo superficial (HAFS)



Fuente: Tilley, (2008). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

- 1.1. Sistemas de producción piscícola
 - 1.1.1. Sistema de circuito abierto con flujo constante
 - 1.1.2. Sistemas de recirculación en circuito cerrado
- 1.2. Aspectos generales de la piscicultura
- 1.3. Generalidades de la empresa de estudio
 - 1.3.1. Ubicación
 - 1.3.2. Descripción de la empresa
 - 1.3.3. Cultivo de tilapia
 - 1.3.4. Etapa de engorde
 - 1.3.5. Etapa de cosecha
 - 1.3.6. Alternativas de alimentación
- 1.4. Calidad del agua en la piscicultura
 - 1.4.1. Medición de calidad del agua
- 1.5. Parámetros físicos

- 1.5.1. Temperatura
- 1.5.2. Turbidez
- 1.6. Parámetros químicos
 - 1.6.1. Salinidad
 - 1.6.2. Oxígeno
 - 1.6.3. Potencial de hidrógeno (pH)
 - 1.6.4. Fosfatos
 - 1.6.5. Amoniacó (NH₃), nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃)
 - 1.6.6. Pesticidas y antibióticos
- 1.7. Impacto ambiental del efluente
- 1.8. Regulaciones ambientales nacionales sobre la descarga de aguas residuales “Acuerdo Gubernativo 236-2006”
 - 1.8.1. Artículo 1. Objeto
 - 1.8.2. Artículo 13. Caracterización del Afluente y Efluente del Sistema de Producción
 - 1.8.3. Artículo 16. Parámetros de aguas residuales
 - 1.8.4. Artículo 21. Límites Máximos Permisibles para Entes Generadores Nuevos
 - 1.8.5. Artículo 34. Autorización de reúso
 - 1.8.6. Artículo 35. Parámetros y límites máximos Permisibles para reúso
- 1.9. Parámetros de calidad del agua residual
 - 1.9.1. Temperatura
 - 1.9.2. Grasas y aceites
 - 1.9.3. Materia flotante
 - 1.9.4. Sólidos suspendidos
 - 1.9.5. Nitrógeno total
 - 1.9.6. Fosfato total
 - 1.9.7. Potencial de hidrógeno (pH)

- 1.9.8. Coliformes fecales
- 1.9.9. Arsénico
- 1.9.10. Cadmio
- 1.9.11. Cianuro
- 1.9.12. Cobre
- 1.9.13. Cromo hexavalente
- 1.9.14. Mercurio
- 1.9.15. Níquel
- 1.9.16. Plomo
- 1.9.17. Zinc
- 1.9.18. Color
- 1.9.19. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- 1.9.20. Demanda química de oxígeno (DQO)
- 1.9.21. Índice de biodegradabilidad
- 1.10. Sistemas de tratamiento del agua
 - 1.10.1. Aireadores y oxigenadores
 - 1.10.2. Aireadores de paletas
 - 1.10.3. Filtración
 - 1.10.4. Filtros Manga para tuberías
 - 1.10.5. Filtros de flujo reversible
 - 1.10.6. Estanques de sedimentación
 - 1.10.7. Humedales artificiales
 - 1.10.7.1. Humedales artificiales de flujo superficial

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 2.1. Características del estudio
- 2.2. Unidades de análisis
- 2.3. Variables

- 2.3.1. Sistema de producción piscícola
- 2.3.2. Calidad de efluentes de agua residual
- 2.4. Plan de muestreo
 - 2.4.1. Parámetros de calidad del agua en el punto de descarga in situ
 - 2.4.2. Parámetros de calidad del agua analizados por un laboratorio subcontratado
- 2.5. Fases del estudio
 - 2.5.1. Fase 1: revisión bibliográfica
 - 2.5.1.1. Resultado de caudales, tiempo de retención, factor alimenticio y densidad de la siembra
 - 2.5.2. Fase 2: gestión o recolección de la información para la caracterización de la calidad del efluente en el punto de descarga
 - 2.5.2.1. Evaluación de la calidad del agua residual en el punto de descarga
 - 2.5.3. Fase 3: Interpretación de los resultados de los análisis de la calidad del agua residual
 - 2.5.3.1. Determinación de la carga contaminante de los parámetros que no cumplen con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en el punto de descarga
 - 2.5.3.2. medidas de mitigación según la carga contaminante del efluente
 - 2.5.4. Fase 4: Características del cuerpo receptor final
 - 2.5.4.1. relación sistema productivo e índice de biodegradabilidad

- 2.5.4.2. Planteamiento de las posibles alternativas para el sistema de tratamiento de las aguas residuales
- 2.5.5. Fase 5: selección de alternativa de tratamiento de efluentes más adecuada
- 2.5.6. Propuesta del diseño de sistema de tratamiento para los parámetros que incumplen el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y medidas de mitigación para los efluentes generados en una empresa productora de tilapia

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 3.1. Diagnóstico del proceso productivo
 - 3.1.1. Estanques
 - 3.1.2. Medición de caudales
 - 3.1.3. Densidad de siembra
 - 3.1.4. Alimentación
 - 3.1.5. Crecimiento
 - 3.1.6. Cosecha
- 3.2. Características del agua residual
- 3.3. Muestreo
 - 3.3.1. Tiempo de retención
- 3.4. Recopilación de información secundaria
- 3.5. Caracterización de las aguas residuales
 - 3.5.1. Evaluación de la calidad del agua residual en el punto de descarga
 - 3.5.1.1. Determinación de la carga Contaminante de los parámetros que no

cumplen con el Acuerdo Gubernativo
236-2006 en el Punto de Descarga

- 3.6. Medidas de mitigación según la carga contaminante del efluente
 - 3.6.1.1. Relación sistema productivo e índice de biodegradabilidad
 - 3.7. Planteamiento alternativas para el sistema de tratamiento de las aguas residuales
 - 3.7.1. Propuesta del diseño de sistema de tratamiento para los parámetros que incumplen el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y medidas de mitigación para los efluentes generados en una empresa productora de tilapia
 - 3.8. Aplicación de diseño estadística
 - 3.9. Discusión de resultados
4. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO
- 4.1. Costos de la propuesta

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Este estudio tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo, en el cual se caracterizará la variable de calidad del agua residual de la actividad piscícola, para obtener la concentración de los parámetros en comparación con Acuerdo Gubernativo 236-2006, A fin de determinar si se está cumpliendo con el reglamento y a su vez evaluar alternativas de tratamiento y proponer el diseño más adecuado a la empresa, además de proponer medidas de mitigación para los efluentes generados en el proceso productivo.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio propuesto es cuantitativo, ya que se indican variables cuantitativas continuas para las concentraciones de los parámetros de calidad del agua residual.

El alcance será de tipo exploratorio ya que se investigará y analizará la información obtenida de la calidad del agua residual para su disposición final y posteriormente la realización una investigación más detallada de las diferentes alternativas de tratamiento de agua para definir el método más conveniente a la empresa.

El diseño adoptado será experimental, dado que identificará la concentración de los parámetros de la calidad del agua residual en el sistema productivo de la empresa.

La investigación es de tipo cuantitativa - descriptiva; porque mediante la caracterización de la calidad del agua residual en el punto de descarga, se dará la propuesta de un método de tratamiento para la reducción de los contaminantes piscícolas que no cumplan con el Acuerdo Gubernativo 236-2006. El alcance de esta investigación no comprobará una hipótesis.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será la calidad del agua residual del sistema de producción de tilapia, donde se extraerán muestras de manera experimental en el punto de descarga, obteniendo como resultado la carga contaminante de los parámetros de calidad de aguas residuales para compararlos con los límites máximos permisibles el Acuerdo Gubernativo 236-2006, del artículo 21.

9.3. Variables

Las siguientes a considerar en el estudio son el sistema de producción y la calidad del agua residual.

9.3.1. Sistema de producción piscícola

Es importante realizar un diagnóstico del sistema de producción y los aspectos técnicos en cada etapa que puedan afectar la generación y tratamiento de las aguas para su disposición final.

Determinar condiciones de la parte operativa del sistema de producción como alimentación, caudal en los puntos de captación, descarga de estanques y cuerpos receptores. Para fines de este estudio se considerarán el sistema

abierto, sistema semiabierto y de recirculación en las propuestas de tratamiento de los efluentes.

9.3.2. Calidad de efluentes de agua residual

Para la caracterización de los efluentes se considerará los parámetros de la calidad del agua residual descritos en el Artículo 21 del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

9.4. Plan de muestreo

El plan de muestreo identificará la frecuencia de tomas de muestras basado en el Artículo 49 del Acuerdo Gubernativo 236-2006. El punto de control será en el Punto de Descarga del sistema de producción al cuerpo receptor.

9.4.1. Parámetros de calidad del agua en el punto de descarga *in situ*

- pH
- Temperatura
- Nivel de oxígeno disuelto

9.4.2. Parámetros de calidad del agua analizados por un laboratorio subcontratado

Potencial de hidrógeno	Demanda bioquímica de oxígeno
Grasas y aceites	Demanda química de oxígeno
Materia flotante	Nitrógeno total
Sólidos suspendidos totales,	Fósforo total

Arsénico	Níquel
Cadmio	Plomo
Cianuro total	Zinc
Cobre	Color
Cromo hexavalente	Coliformes fecales
Mercurio	

9.5. Fases del estudio

Las fases de estudio se dividirán en 5 etapas: donde se identificará el punto de control para la toma de muestra y la frecuencia de las mismas. La resultados de los parámetros de calidad del agua residual, en el sistema de producción del proyecto piscícola, la comparación con el acuerdo Gubernativo 236-2006, la investigación de alternativas para proponer un sistema de tratamiento de los efluentes tomando en cuenta medidas de mitigación del impacto de la actividad, la sostenibilidad y eficiencia productiva, así como el aprovechamiento de los recursos a beneficio de la empresa.

9.5.1. Fase 1: revisión bibliográfica

Se llevará a cabo la recopilación de información general de la empresa piscícola; con base en fuentes primarias, se realizará una breve descripción acerca del tipo de producción, las características de estanques, densidad de siembra, fuente principal de abastecimiento de agua y aspectos generales de la localización geográfica de la empresa.

9.5.1.1. Resultado de caudales, tiempo de retención, factor alimenticio y densidad de la siembra

El resultado nos llevará a cumplir con el objetivo específico de la calidad del agua residual del proceso productivo de tilapia con respecto a los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, según el Artículo 21.

9.5.2. Fase 2: gestión o recolección de la Información para la caracterización de la calidad del efluente en el punto de descarga

Posterior a la determinación de aspectos generales del proyecto de cada una de las etapas del proceso productivo, y generalidades acerca de la especie productiva, se llevará a cabo toma de muestras en el punto de descarga según el plan de muestreo. Y se realizará el análisis de las muestras por medio de un laboratorio subcontratado.

9.5.2.1. Evaluación de la calidad del agua residual en el punto de descarga

Se llevará a cabo el estudio respectivo y la interpretación de los resultados obtenidos de los parámetros de calidad de los efluentes en el punto de descarga y la determinación del índice de biodegradabilidad.

9.5.3. Fase 3: Interpretación de los resultados de los análisis de la calidad del agua residual

Según los resultados del estudio se evaluará la situación real del proyecto sobre cada uno de los parámetros de calidad del agua residual.

9.5.3.1. Determinación de la carga contaminante de los parámetros que no cumplen con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en el punto de descarga

Lo que nos llevará a nuestro objetivo específico de definir las medidas de mitigación en las diferentes etapas del proceso de producción de la tilapia para la reducción del impacto de la actividad piscícola y la sostenibilidad de la producción.

9.5.3.2. Medidas de mitigación según la carga contaminante del efluente

Se presentará las medidas de mitigación del impacto ambiental para cada parámetro que incumpla con los límites máximos permisibles según el acuerdo.

9.5.4. Fase 4: Características del cuerpo receptor final

La evaluación de efluentes a cuerpos receptores de agua se lleva a cabo directamente en el punto de descarga.

9.5.4.1. Relación sistema productivo e índice de biodegradabilidad

Es importante hacer énfasis en la capacidad de asimilación del cuerpo receptor la cual será representada por la cantidad de materia orgánica que puede ser vertida sin comprometer los recursos de oxígeno disuelto presente en el agua y la relación entre estas variables.

9.5.4.2. Planteamiento alternativas para el sistema de tratamiento de las aguas residuales

A partir de la revisión bibliográfica, y la característica de los efluentes se plantearán alternativas de tratamientos de aguas que reduzcan el impacto de ésta actividad. Tomando en cuenta las características generales del sistema de producción y la ubicación del proyecto, entre otros.

9.5.5. Fase 5: selección de alternativa de tratamiento más adecuada

La selección de la alternativa más adecuada para implementar en el proyecto se realizará con respecto a la carga contaminante de los parámetros que incumplen el reglamento para su disposición final y al de menor costo, tanto de inversión como de operación. Por lo que se realizará el respectivo análisis financiero para la implementación de dicha propuesta.

9.5.5.1. Propuesta de un diseño de sistema de tratamiento para los parámetros que incumplen el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y medidas de mitigación para los efluentes generados en una empresa productora de tilapia

La propuesta se realizará con base en la información investigada, obteniendo una mejor visualización de la metodología a utilizar, evaluación de los efluentes piscícolas, el sistema de tratamiento y las medidas de mitigación del impacto ambiental como parte de una producción sostenible.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

10.1. Diagnóstico del proceso productivo

Identificación tipo de sistema de producción y descripción las etapas por medio de encuestas y visitas en campo, tablas, gráficos de barras para ilustrar y comparar:

- Descripción Sistema producción
- Inicio
- Crecimiento
- Alimentación
- Cosecha
- Densidad de siembra
- Recambio diario
- Parámetros de control (temperatura y oxígeno disuelto)
- Tiempo de retención
- Caudales
- Identificación de los Puntos de control y descarga

10.2. Características del agua residual

Tabla de datos y gráficos para describir la concentración de parámetros físicos, químicos y biológico en el punto de descarga. Los muestreos serán in situ y se analizarán en un laboratorio subcontratado donde se utilizarán métodos estándares para el análisis de la calidad del agua.

- Análisis en campo:
 - pH. Por medio de un potenciómetro
 - Temperatura. Por medio de un termómetro

- Análisis de laboratorio (subcontratado):

Potencial de hidrógeno	Cianuro total
Grasas y aceites	Cobre
Materia flotante	Cromo hexavalente
Sólidos suspendidos totales,	Mercurio
Demanda bioquímica de oxígeno	Níquel
Demanda química de oxígeno	Plomo
Nitrógeno total	Zinc
Fósforo total	Color
Arsénico	Coliformes fecales
Cadmio	

10.3. Plan de muestreo

Se basa en el Artículo 49: del Acuerdo Gubernativo 236-2006, para la frecuencia de toma de muestras. El punto de control principal será el Punto de Descarga del sistema de producción, así como una muestra para la determinación del agua de entrada al sistema de producción procedente del cuerpo receptor.

Tabla V. **Obtención de datos del muestreo en el punto de control**

Punto de Control:			Fecha:	Hora:
Parámetro	Unidad	Concentración del efluente	Concentración Acuerdo 236-2006	Identificación de Muestra
pH			6.0 - 9.0	
Oxígeno Disuelto	mg/lit			
Temperatura	°C		TCR +/- 7	
Caudal	m ³ /día			

Fuente: elaboración propia.

10.4. Alternativas de sistema de tratamiento de efluentes

Elección de la alternativa de tratamiento adecuado para las descargas provenientes de la producción. Por medio de la revisión bibliográfica y diseños establecidos.

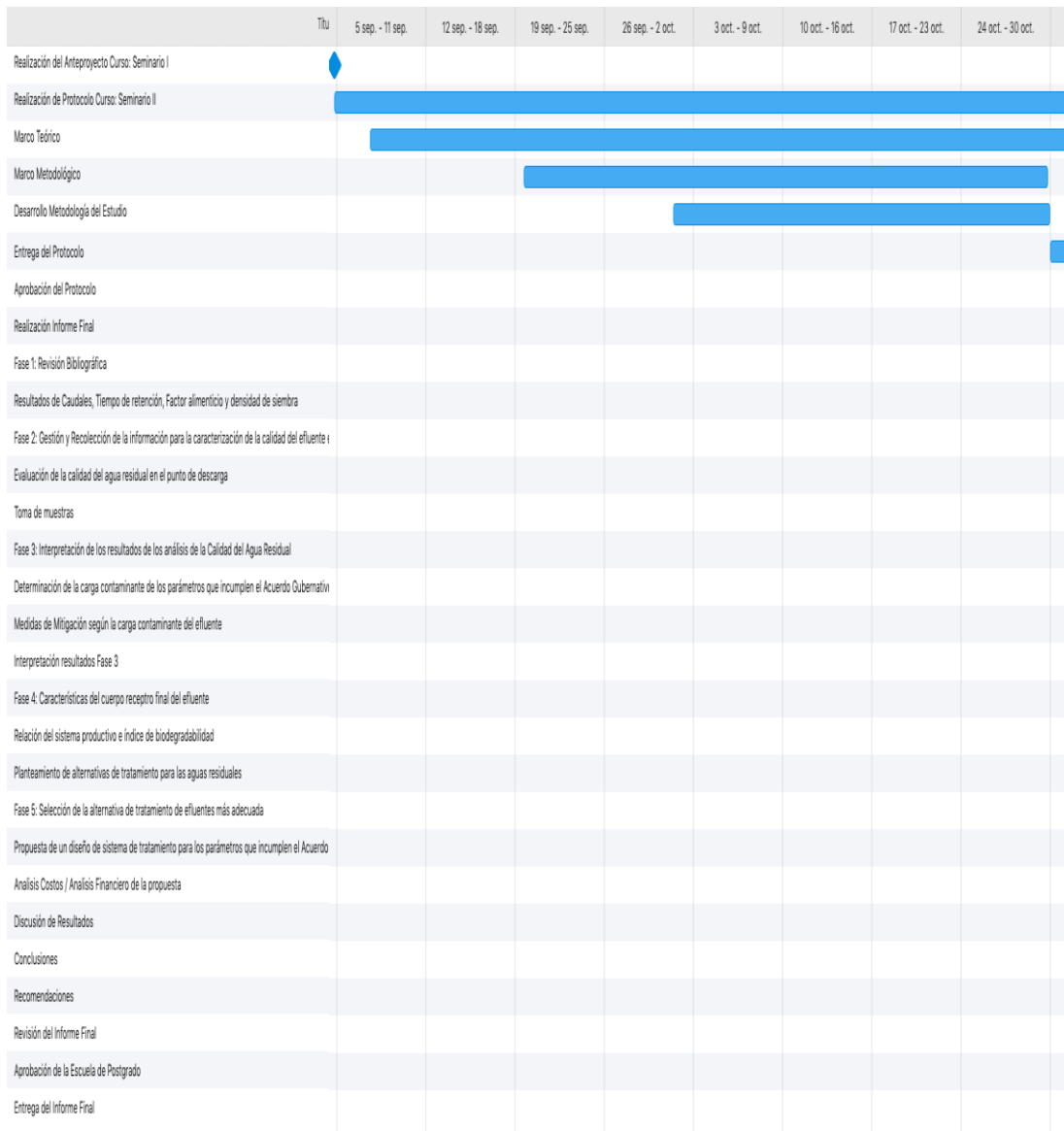
10.5. Aplicación de diseño estadística

Los métodos estadísticos para el análisis de la información será estadística descriptiva e inferencial:

Se tabularán, representarán y compararán datos por medio de tablas y gráficos, de los parámetros de calidad del agua residual obtenida desde el punto de descarga, utilizando métodos estadísticos como desviaciones media, máxima, mínima y estándar. Se utilizará la prueba t de Student para comparar las concentraciones de contaminantes del afluente y efluente del sistema de producción.

11. CRONOGRAMA

Figura 12. Cronograma de actividades



Continuación figura 12.



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación cuantitativa y descriptiva, se utilizarán los siguientes recursos:

Recurso humano

Para realizar la investigación se cuentan con el recurso humano necesario para el estudio el cual se encuentra tanto en área administrativa y operadores de campo por parte de la empresa, con conocimiento y experiencia en el área del estudio. También se cuenta con el apoyo y experiencia del asesor, así mismo el investigador.

Permiso y autorizaciones

Para el desarrollo de la investigación se tienen los permisos por parte de la empresa para utilización de información, por ejemplo los registros diarios de alimentación y control, permiso para la utilización del equipo necesario para la determinación de los parámetros in situ descritos en la metodología, así como la autorización de disposición del personal de campo y mantenimiento.

Tabla VI. **Recursos financieros necesarios para la investigación**

RECURSO	COSTO
Muestreo y análisis in situ: Materiales para toma y conservación de muestras Equipo de protección personal: (botas, poncho contra agua, ropa adecuada para campo) Flujómetro Potenciómetro Termómetro	Q.1,500.00
Material complementario Cámara fotográfica Cronometro Computadora	Q.3,000.00
Análisis ex situ (laboratorio subcontratado) Parámetros de calidad según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, según el artículo 21	Q. 7,500.00
Levantamiento de información complementaria Tablas apoya manos Papel Bolígrafos Marcadores Indelebles	Q.500.00
Movilización al proyecto Transporte propio	Q.1,500.00
Toner de impresora	Q. 100.00
Recurso Humano	Q. 2,000.00
Asesor	Q. 2,500.00
TOTAL	Q. 18,600.00

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos aportados suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.

REFERENCIAS

1. Blázquez, J. R. (2016). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*. España: Universidad de Alicante.
2. Borja, Á. (junio de 2002). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Boletín Instituto Español de Oceanografía*, 41-49.
3. Boyd, C. E. (2001). *Prácticas de Manejo para Reducir El Impacto Ambiental del Cultivo del Camarón*. Alabama, USA: Department of Fisheries and Allied Aquacultures.
4. Boyd, C. E., y Tucker, C. S. (2000). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Londres: Kluwer Academic Publishers.
5. Boyd, C. (1979). *Water Quality in Warmwater Fishpond*. Londres: Agricultural Experiment Station.
6. Brix, H. y Schierup, H. H. (1989). The Use of Aquatic Macrophytes in Water-Pollution Control. *AMBIO*, 18(2), 100-107.
7. Buschmann, A. H. (2001). *Impacto ambiental de la acuicultura, el estado de la investigación en Chile y el mundo*. Chile: Terram Publicaciones.
8. Castine, S., McKinnon, D.; Paul, N. y Trott, L. (enero 2013). Wastewater treatment for land-based aquaculture: improvements and value-adding

alternatives in model systems from Australia. *Aquacult Environ Interact*, 4, 285-300.

9. FAO. (1997). *Construcción de Estanques para la piscicultura en Agua Dulce*. Roma: Autor.
10. FAO. (octubre 2003). Agro-acuicultura integrada: Manual Básico. *Documento técnico de pesca* (407) 120-143.
11. Fast, A. W. (febrero 1986). Pond Production Systems: Water Quality Management Practices. *Principles and Practices of Pond Aquaculture*, 141-167.
12. Iturbide Dormon, K. (2008). *Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación*. Guatemala: Escuela de estudios de Postgrado, 74.
13. Lannan, J.; Smitherman, R. O. y Tchobanoglous, G. (1986). *Principles and Practices of Pond Aquaculture*. Estados Unidos: Aquaculture Collaborative Research Support Program, 253.
14. Lopez, S. y Martin Calderon, S. (2015). *UF 1668: Análisis de agua potable y residual* (Vol. 5). España: Editorial ELEARNING S.L.
15. Martelo, J. y Lara Borrero, J. A. (junio 2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243.

16. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN] (2006). *Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición Final de Lodos*. Guatemala: Autor.
17. Pardo, S.; Suarez, H. y Soriano, E. (septiembre 2006). Tratamiento de Efluentes una vía para la Acuicultura Responsable. *MVZ*, 11(1), 20-29.
18. Rahman, E.; Bin Halmi, M. I.; Bin Abd Samad, M. Y.; Abd Shukor, M. Y.; Sheikh Abdullah, S. R. y Uddin, K. (2020). *Design, Operation and Optimization of Constructed Wetland for Removal of Pollutant*. Washington D.C. International Journal of Environmental Research and Public Health.
19. Ramírez Carrillo, H. F.; Luna Pabello, V. M., y Arredondo Figueroa, J. L. (agosto 2009). Evaluación de un Humedal Artificial de Flujo Vertical Intermitente para obtener Agua de Buena Calidad para la Acuicultura. *Revista Mexicana para la Ingeniería Química*, 8(1), 93-99.
20. Reed, S. (1990). *Natural systems for wastewater treatment*. New York: McGraw-Hill.
21. Rivera Vergara, D. (2015). *Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia*. Colombia: Cuaderno Activa.
22. Rodríguez, M.; Buitrago, A., y Gutiérrez-Fernández, F. (2017). Reducción de la huella de carbono por medio de la implementación de un sistema fotovoltaico en el sector hotelero. *Revista de Tecnología*, 16(1), 169-182.

23. Schulz, C.; Gelbrecht, J. y Rennert, B. (2003). *Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow*. Washington D.C. 2Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries.
24. Silva, H. y Camargo, G. (diciembre 2006). Efficiency of Aquatic Macrophytes to treat Nile Tilapia Pond Effluents. *Revista Brasileira de Zootecnia*. (37) 65-78.
25. Sindilairu, P. W. (abril 2008). Constructed wetlands as a treatment method for effluents from intensive trout farms. *Aquaculture*, (277), 179-187.
26. SustainAqua. (2009). *Integrated approach for a sustainable and healthy freshwater aquaculture*. Alemania: Autor.
27. Tejada, J. (2010). *Diseño de un humedal para la remoción de Cd, As y Cr con plantas de Typha latifolia (espadaña)*. (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
28. Tilley, E.; Ulrich, L.; Lüthi, C.; Reymond, P.; Schertenleib, R. y Zurbrügg, C. (2008). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Suiza: Banco Interamericano de Desarrollo.
29. UICN. (2010). *Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea*. Málaga, España. Autor.

30. Viadero, R.; Cunningham, J.; Semmens, K. y Tierney, A. (febrero 2005). Effluent and production impacts of flow-through aquaculture operations in West Virginia. *Aquacultural Engineering*, 22(4), 258-270.
31. Vidal-Martinez, V. M.; Olvera-Novoa, M. A.; Morales, V. y Cuellar-Anjel, J. (2017). *Manual de Buenas Prácticas de Manejo para la Piscicultura en Agua Dulce*. Centroamérica: OIRSA-OSPESCA.
32. Vinatea Arana, L. (2006). *Principios Químicos de Calidad del Agua en la Acuicultura*. Brasil: Editora DSOP.

APÉNDICE

Apéndice 1. Matriz de coherencia y conceptualización

PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Falta de la caracterización de la calidad del efluente y sistema de tratamiento de agua en una empresa productora de Tilapia	Proponer un sistema de tratamiento y medidas de mitigación para los parámetros que incumplen el Acuerdo Gubernativo 236-2006 para los efluentes generados en una empresa productora de tilapia.				
PREGUNTA PRINCIPAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS				
Cuáles son los parámetros en el efluente de la empresa productora de tilapia, que incumplen con el reglamento de aguas residuales y qué medidas de mitigación deben de implementarse?	1. Evaluar la calidad del agua residual del proceso productivo de tilapia con respecto los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006, de acuerdo al Artículo 21.	Sistemas de producción de Tilapia Impacto del agua residual de la actividad piscícolas		Sistema de producción de tilapia	Parámetros fisicoquímicas del agua.
PREGUNTAS SECUNDARIAS		Reglamento nacional para aguas de descargas	El presente trabajo de investigación no comprobará una hipótesis	Calidad del agua residual	Medidas de Mitigación
<p>1. ¿Cuál es la carga contaminante aportada por parte de la empresa productora de tilapia en función de la densidad de siembra?</p> <p>2. ¿Cuáles son las medidas de mitigación que pueden implementarse en las diferentes etapas de producción de tilapia?</p> <p>3. Según los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 ¿Qué alternativas de sistemas de tratamiento de agua residuales pueden proponerse para el cumplimiento con los límites máximos permisibles de los parámetros antes mencionados?</p>	<p>2. Elaborar una interpretación de los resultados de laboratorio para los parámetros de la calidad y determinar los posibles incumplimientos con reglamento de descargas.</p> <p>3. Definir las medidas de mitigación según las cargas contaminantes del efluente</p> <p>4. Según la caracterización de la Calidad de los efluentes generados por el sistema de producción de tilapia evaluar diferentes tecnologías de tratamiento</p>	<p>Parámetros de calidad del agua residual</p> <p>Sistemas de tratamiento de aguas provenientes de la piscicultura</p>			<p>Carga contaminante</p> <p>Alternativas de tratamiento</p>

Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. Impactos y factores de la acuicultura en jaulas

Tabla II. Actividades de la acuicultura que producen impactos y principales factores que pueden verse impactados. (○): impacto notable; (●): impacto moderado; (—): no hay relación.

Impactos	Actividades de la acuicultura									
	Especies	Alimento	Productos químicos	Pesticidas	Hormonas	Heces	Lugares	Especies alóctonas	Pozos	Productos anti-fouling
Enriquecimiento	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—
Cadenas tróficas	●	●	○	○	—	●	—	○	—	○
Consumo de oxígeno	●	●	—	—	—	●	—	○	—	—
Biodiversidad	—	●	●	●	○	○	—	●	—	○
<i>Fouling</i>	—	—	—	—	—	—	●	—	—	●
Cambios bentos	—	○	●	○	—	○	—	○	—	○
Resistencia antibióticos	—	—	●	—	—	—	—	—	—	—
Salinización acuíferos	—	—	—	—	—	—	●	—	●	—
Acidificación suelos	—	○	—	—	—	●	●	—	—	—
Subsidencia de tierras	—	—	—	—	—	—	●	—	●	—
Afección vida salvaje	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
Salinización suelos	—	—	—	—	—	—	●	—	○	—
Cambios de sustrato	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—
Especies no deseables	—	●	—	—	—	●	—	—	—	○
Eutrofia	—	●	—	—	—	●	—	—	—	—
Toxicidad de especies marinas	—	—	—	—	—	—	—	—	—	●

Fuente: Borja, (2002). *Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad.*

