



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN CON RELACIÓN A LA EVALUACIÓN TÉCNICA Y  
AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DESTINADO AL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS EN UNA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA SIN ACCESO A UN DRENAJE MUNICIPAL**

**Julio Estuardo Ruiz Morales**

Asesorado por Msc. Ing. Luis Gerardo Reyes Pineda

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN CON RELACIÓN A LA EVALUACIÓN TÉCNICA Y  
AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DESTINADO AL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS EN UNA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA SIN ACCESO A UN DRENAJE MUNICIPAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JULIO ESTUARDO RUIZ MORALES**

ASESORADO POR MSC. ING. LUIS GERARDO REYES PINEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	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	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Dario Francisco Lucas Mazariegos
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
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 CON RELACIÓN A LA EVALUACIÓN TÉCNICA Y  
AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DESTINADO AL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS EN UNA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA SIN ACCESO A UN DRENAJE MUNICIPAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 29 de enero de 2022.

**Julio Estuardo Ruiz Morales**



**EPPFI-PP-0028-2022**

Guatemala, 12 de enero de 2022

**Director**  
**Armando Fuentes Roca**  
**Escuela De Ingenieria Civil**  
**Presente.**

**Estimado Mtro. Fuentes**

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

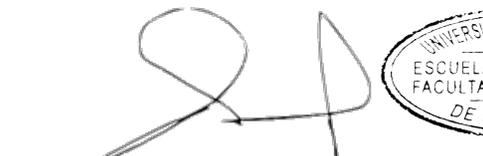
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **EVALUACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DESTINADO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA SIN ACCESO A UN DRENAJE MUNICIPAL**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión Ambiental - Gestión y Tratamiento del Agua - Evacuación final de efluentes líquidos**, presentado por el estudiante **Julio Estuardo Ruiz Morales** carné número **201313769**, 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.

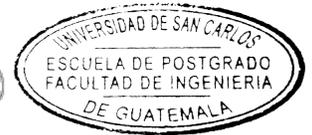
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para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

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Luis Gerardo Reyes Pineda  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado 6,452  
Mtro. Luis Gerardo Reyes Pineda  
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

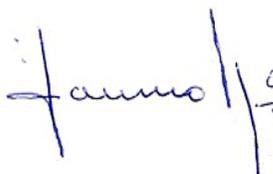




EEP.EIC.0028.2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil 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: **EVALUACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DESTINADO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA SIN ACCESO A UN DRENAJE MUNICIPAL**, presentado por el estudiante universitario **Julio Estuardo Ruiz Morales**, 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



Mtro. Armando Fuentes Roca  
Director  
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, enero de 2022



LNG.DECANATO.OI.443.2022

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 Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN CON RELACIÓN A LA EVALUACIÓN TÉCNICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR DESTINADO AL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA SIN ACCESO A UN DRENAJE MUNICIPAL**, presentado por: **Julio Estuardo Ruiz Morales**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por brindarme las fuerzas necesarias en todo momento, darme muchas oportunidades en la vida y ser mi fuente de sabiduría inagotable.

### **Mis padres**

Julio Leonardo Ruiz y Manuela Morales Lux, por su apoyo y su amor incondicional, por motivarme en cada momento difícil, no permitiéndome el rendirme y demostrándome que todo esfuerzo tiene su recompensa.

### **Familiares y amigos**

Por ser apoyo en momentos decisivos del proceso, dándome motivación para lograr alcanzar mis metas, siendo pilares importantes.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudio durante varios años, brindándome una formación académica y profesional de alto nivel.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por permitirme formar parte de ella, proporcionándome los conocimientos necesarios para formarme como profesional
<b>Mi asesor</b>	MSC. Ing. Luis Reyes por brindarme su apoyo, tiempo, paciencia y transmitirme sus conocimientos durante el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
2.1 Tratamiento físico .....	4
2.2 Tratamiento biológico .....	5
2.3 Descarga de las aguas residuales.....	6
2.4 Microorganismos transmitidos por el agua e indicadores microbiológicos de contaminación .....	7
2.5 Evaluación de impacto ambiental .....	8
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1 Contexto general .....	9
3.2 Descripción del problema .....	10
3.3 Formulación del problema .....	11
3.3.1 Pregunta central .....	11
3.3.2 Preguntas auxiliares .....	11
3.4 Delimitación del problema .....	12
3.4.1 Delimitación contextual.....	12
3.4.2 Delimitación geográfica .....	12
3.4.3 Delimitación histórica.....	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	Tipos de tratamientos para aguas residuales.....	22
7.1.1	Pre-tratamiento.....	22
7.1.2	Pre-aireación .....	22
7.1.3	Tratamiento primario .....	22
7.1.4	Tratamiento secundario.....	23
7.1.5	Tratamiento terciario .....	23
7.2	Biodigestor .....	24
7.2.1	Biodigestor y sus acciones .....	25
7.2.2	Beneficios del uso de biodigestor.....	25
7.2.3	Proceso anaeróbico .....	25
7.3	Parámetros máximos permisibles para el tratamiento de lodos.....	26
7.4	Análisis Microbiológico de aguas residuales.....	27
7.4.1	Microorganismos patógenos .....	27
7.4.2	Coliformes fecales.....	28
7.4.3	Coliformes Termo tolerantes .....	28
7.4.4	Desechos orgánicos.....	29
7.4.5	Demanda química de oxígeno.....	29
7.4.6	Demanda bioquímica de oxígeno .....	29

7.5	Técnicas de valoración bacterianas indicadoras de contaminación fecal.....	30
7.5.1	Filtración por membrana.....	30
7.5.2	Diluciones sucesivas y valoración según el NMP ...	31
7.6	Estreptometría confirmativa.....	32
7.7	Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.....	32
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	35
9.	METODOLOGÍA.....	39
9.1	Características del estudio .....	39
9.1.1	Enfoque .....	39
9.1.2	Alcance.....	40
9.1.3	Diseño .....	40
9.2	Unidad de análisis .....	40
9.3	Variables.....	41
9.4	Fases del estudio .....	42
9.4.1	Fase 1. Recolección y revisión documental.....	42
9.4.2	Fase 2. Parámetros de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	42
9.4.3	Fase 3. Estudios de impacto ambiental .....	43
9.4.4	Fase 4. Analizar la calidad de agua tratada y ensayos de laboratorio .....	43
9.4.5	Fase 5. Unificar criterios de estudios realizados.....	43
9.4.6	Fase 6. Análisis de resultados y proceso de mejora.....	44
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	45

11.	CRONOGRAMA .....	47
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	49
13.	REFERENCIAS .....	53

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Cronograma de actividades .....	47
----	---------------------------------	----

### TABLAS

I.	Límites máximos permisibles para lodos .....	26
II.	Diluciones recomendadas .....	31
III.	Clasificación de variables .....	41
IV.	Presupuesto recurso humano .....	50
V.	Presupuesto recurso tecnológico .....	51
VI.	Presupuesto recurso material .....	51
VII.	Resumen de presupuesto .....	52



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>L</b>	Litro
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cubico
<b>ml</b>	Mililitro
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigeno diatómico
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	Asimilación de sustancias dentro de una estructura física de un líquido o un sólido sin tener una reacción química.
<b>Acondicionamiento de agua</b>	Hace referencia a toda clase de tratamiento al agua que puede ser diseñado para mejorar la calidad de este, mediante la neutralización, inhibición o eliminación de sustancias indeseables.
<b>Acuífero</b>	Depósitos de agua que se encuentran debajo de la superficie terrestre, conformado por capas porosas de arena, roca o grava, formando depósitos naturales.
<b>Adsorbente</b>	Medio sólido que puede ser capaz de absorber cualquier clase de líquidos o materia suspendida.
<b>Aerobio</b>	Proceso de tratamiento que se realiza en presencia de aire, tal como lo es la digestión aeróbica que se enfoca en materia orgánica por bacterias.
<b>Afluente</b>	Agua que ingresa a un sistema de tratamiento de aguas ya producidas.
<b>Agente oxidante</b>	Químico que provoca la oxidación de otras sustancias.

<b>Aguas negras</b>	Se refiere a las aguas residuales procedentes de desechos sanitarios, los cuales son líquidos con materia orgánica, orina y fecal.
<b>Bacterias Coliformes</b>	Grupo de bacterias que se encuentran en el tracto intestinal de los seres vivos, así como en sus heces, lo cual indica presencia de contaminantes patógenos en las aguas negras.
<b>Biodegradable</b>	Sustancias sujetas a una degradación en forma simple por una acción biológica.
<b>Clorador</b>	Dispositivo mecánico que es diseñado para alimentar cloro en un sistema de tratamiento ya sea en forma gaseosa, líquida o sólida.
<b>Contaminación</b>	Presencia de cualquier sustancia física, química o biológica en el agua.
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno que tiene el agua, es la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de la materia orgánica por acción biológica.
<b>DBO</b>	Demanda química de oxígeno del agua, este midiéndose por medio de una prueba de laboratorio con el uso de un oxidante químico.
<b>Desgasificación</b>	Eliminación de gases disueltos en el agua, sometiendo el agua a presión inferior a la atmosférica.

<b>Efluente</b>	Salida de un sistema de tratamiento de agua.
<b>Filtración</b>	Proceso de pasar el agua por medio de un material poroso con el fin de retener sólidos en suspensión.
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>Orgánico</b>	Cualquier sustancia proveniente de plantas o animales, que contiene moléculas de enlaces carbono-carbono y carbono-hidrógeno.
<b>Organismo anaerobio</b>	Organismo que puede prosperar en ausencia de oxígeno.
<b>Residual</b>	Material que permanece en el agua después de un proceso de tratamiento.
<b>ROTOPLAS</b>	Grupo Rotoplas, distribuidores de sistemas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de agua potable.
<b>Sanitación</b>	proceso de reducción del contenido microbiano, sin llegar a la desaparición completa de los microorganismos patógenos.
<b>Sedimentación</b>	Materia sólida en forma de partículas o granos que se encuentra en una superficie.

<b>Tratamiento primario</b>	Etapa de eliminación de grasas, aceites y todo solido grueso que esté presente en el agua residual.
<b>Tratamiento secundario</b>	Etapa de eliminación de grasas, aceites y todo solido grueso que esté presente en el agua residual.
<b>Tratamiento terciario</b>	Consiste en la reducción de contaminantes mediante desinfección química, microfiltración y carbón activado.
<b>TRECSA</b>	Transportadora de Energía de Centroamérica S.A.

## RESUMEN

La problemática que puede generar la incorrecta evacuación de las aguas residuales producidas en una subestación eléctrica puede traer consecuencias considerables tanto para la empresa como para la población aledaña al lugar ya que es una fuente clara de contaminación.

Uno de los objetivos que se tiene al diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales es el poder contar con un eficiente sistema, el cual se adapta según la disposición física que tendrán las instalaciones de trabajo, al igual del contar o no con acceso a los servicios generales municipales, tal es el caso del acceso que se tenga al sistema de drenajes.

Cuando se tiene las instalaciones en un área rural se debe de contemplar un sistema de tratamiento de aguas residuales propio, en el cual se puede considerar un sistema por medio de biodigestor, este tiene un sistema de tratamiento anaeróbico y su disposición es mucho menor por lo que es considerada una muy buena opción.

El presente diseño de investigación tiene como objetivo principal el realizar una evaluación técnica y ambiental al implementar el uso de un biodigestor para el tratamiento de aguas servidas, buscando validar un diseño adecuado para el cumplimiento de la no contaminación.



# 1. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como temática, el desarrollar una evaluación técnica y ambiental en el cual se unifiquen los diferentes criterios, para comprobar la correcta operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales instalado en subestaciones eléctricas sin acceso a un drenaje municipal, existentes en sectores rurales de Guatemala. Todo esto como etapa previa y posterior a la entrada en operación del sistema de tratamiento de aguas residuales por medio del uso de un Biodigestor.

Las aguas residuales producidas diariamente en una subestación eléctrica pueden provocar alto nivel de contaminación al medio ambiente si no son tratadas de forma correcta, en Guatemala fue aprobado el Acuerdo Gubernativo 236-2006 reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos, el cual tiene como principal objetivo mantener un equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente. En el tratamiento de aguas residuales es importante contemplar la correcta operatividad por medio de un buen diseño, ya que de no ser así se produce una operatividad deficiente, dándole lugar al incumplimiento de regulaciones, con un inadecuado funcionamiento y mantenimiento de todo sistema de tratamiento de aguas residuales.

A través del presente trabajo se pretende, elaborar un registro del procedimiento para el tratamiento de aguas residuales, dándoles validez con la evaluación técnica y ambiental a las características fisicoquímicas de las aguas antes y después de ser tratadas, las cuales deberán de cumplir parámetros establecidos según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Es interés y propósito de este estudio técnico el poder facilitar un documento unificado para todas las subestaciones eléctricas, para el adecuado tratamiento de aguas residuales producidas, donde se requiera garantizar el compromiso para con el medio ambiente, reduciendo los niveles de contaminación que se puedan presentar.

La realización del estudio es práctico ya que el sistema de tratamiento se compone por la etapa primaria únicamente en la cual se le agrega el proceso de clorificación, con el fin de eliminar todo contaminante existente, utilizando registros existentes de sistemas en subestaciones ya en operación y con subestaciones en proceso de construcción donde se implementa el tratamiento por medio un biodigestor, se tendrá un comparativo entre diferentes tratamientos aplicados, analizando y validando el método más práctico, eficiente y que sea más adecuado según el proyecto en realización.

Para el desarrollo de la investigación se tendrá como primer capítulo los antecedentes, en donde se hará referencia a trabajos de investigación existentes realizados previamente, el capítulo dos comprendido por los parámetros de diseño, donde se determina el criterio para para el diseño del sistema de tratamiento al igual que parámetros ambientales a cumplir, el capítulo tres se hablara sobre el tratamiento anaeróbico el cual corresponde al uso de biodigestor para el tratamiento de aguas residuales, donde se desarrollara todo lo relacionado a este sistema y se detallaran los beneficios de la implementación del mismo, el capítulo cuatro comprendido por los ensayos de laboratorio a realizarse para el cumplimiento de los parámetros ambientales requeridos según el acuerdo gubernativo 236-2006, el capítulo cinco será un análisis de la puesta en operación del sistema, analizando costos desde el diseño, la construcción, puesta en operación y ensayos de laboratorios correspondientes para la validación del sistema.

## 2. ANTECEDENTES

El tratamiento de aguas negras es importante para garantizar la no contaminación del medio ambiente, más cuando se trata de proyectos en donde las instalaciones de operación se encuentran en zonas rurales, en el que no se tiene la disponibilidad de utilizar los servicios municipales de una forma adecuada, tal es el caso la conexión al drenaje municipal, por lo que se debe considerar otras opciones tales como tener un sistema de tratamiento propio en el que se garantice la eliminación de contaminantes que puedan producirse por las aguas servidas, para lo cual se toma como referencia investigaciones previas para poder tener una base fundamentada de lo que se quiere realizar con este trabajo de investigación, el cual tendrá un aporte luego del estudio técnico y ambiental a realizarse al sistema de tratamiento anaeróbico. De los cuales se pueden mencionar:

El principal objetivo del sistema es el garantizar la descontaminación de las aguas servidas previo a ser desechadas a algún suelo o afluente cercano.

El primer trabajo de investigación con relación al tema propuesto tiene como uno de sus objetivos el evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas en biodigestores, en su fase primaria, y la influencia de los parámetros físico, químicos y biológicos, en la detección de material orgánico degradado de forma biológica además de la demanda química de oxígeno, y para obtener ecuaciones del modelo de regresión lineal, la cual fue utilizada para realizar pronósticos, y finalmente proponer el uso de biofiltro con las dimensiones técnicas y parámetros que influyen en el tratamiento secundario., de igual manera indica:

El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada.

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario (asentamiento de sólidos).
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente).
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección). (CLARES, 2018)

La metodológica aplicada para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante biodigestores se basa en la identificación del sistema, en un diagnóstico, en el registro histórico de datos de campo, en la frecuencia de muestreo, en el procesamiento y análisis de parámetros analizados y en la evaluación de resultados, de lo cual se debe considerar según (CLARES, 2018, p. 22):

## **2.1. Tratamiento físico**

Para el tratamiento correspondiente a las aguas residuales en su forma física, el cual consiste en la separación de sólidos existentes tal como la presencia de basura en estas aguas, se procede a una serie de procedimientos para la separación y remoción de los mismo.

Se puede mencionar los siguientes procesos:

- Tamizado
- Remoción de gas.
- Remoción existente de arena.
- Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.
- Separación y filtración de sólidos.

El agregado de cloruro férrico ayuda a la precipitación en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos o lodo.

## **2.2. Tratamiento biológico**

- Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.
- Post – precipitación.
- Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción.
- Biodigestión anaeróbica y humedales artificiales utiliza la materia orgánica biodegradable de las aguas residuales, como nutrientes de una población bacteriana, a la cual se le proporcionan condiciones controladas para controlar la presencia de contaminantes. (CLARES, 2018, p. 49)

### **2.3. Descarga de las aguas residuales**

Las aguas residuales deben de tener un tratamiento para la descontaminación de las mismas y el posible reuso, o bien para luego ser filtrada al suelo, toda municipalidad o entidad encargada debe de garantizar que los usuarios tengan un fácil acceso a la conexión al drenaje municipal para que estas aguas servidas tengan el adecuado tratamiento, esto por medio de plantas de tratamientos de gran magnitud, pero en zonas rurales donde no se cuenta con este acceso es de suma importancia contar con sistemas de tratamientos de menor magnitud, que garanticen el compromiso con el medio ambiente para la no contaminación, es de importancia realizar dicho tratamiento previo a evacuar las aguas servidas, se menciona que:

“El tratamiento de las Aguas Residuales es decir, las aguas que desecha el hombre una vez que éstas han sufrido un cambio en su composición por la incorporación de materias extrañas como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y muchos otros” (Torrecillas y Robles Martinez, 2018, p. 23).

Otro trabajo de investigación se enfoca en la metodológica aplicada para la descripción de las principales características de las aguas residuales así como los distintos tipos de tratamientos de estas, de una manera sintetizada y fácil de comprender; proporcionándole información útil a todos aquellos interesados en el tema,

Menciona una de tantas razones por las cuales se puede contaminar el agua diciendo: “la infiltración de nitratos y otros abonos químicos muy solubles usados en la agricultura, que suele ser una causa grave de contaminación de los suministros en llanuras de elevada productividad agrícola y densa población” (Cruz, 2008, p. 81).

#### **2.4. Microorganismos transmitidos por el agua e indicadores microbiológicos de contaminación**

Los contaminantes existentes en las aguas residuales forman más del 80% de bacterias, estas pueden aislarse en el agua y en su mayoría son bacterias entéricas, las cuales son procedentes del sistema gastrointestinal de animales y humanos, en su existencia:

Estas características particulares indican que su hallazgo está asociado con infecciones recientes o con presencia de materia orgánica y condiciones de pH, humedad y temperatura que faciliten su reproducción y sobrevivencia. Poseen características que las hacen tener algunas ventajas sobre otros organismos, como la metodología de muestreo estandarizado y muy bien definido para obtener una respuesta rápida a cambios ambientales como la contaminación, Son indicadores de contaminación fecal a corto plazo por descarga de desechos y a largo plazo, indicadores de efectividad de programas de control. (Gutiérrez Builes, Ríos Tobón, y Agudelo Cadavid, 2017, p. 33)

## **2.5. Evaluación de impacto ambiental**

Es de importancia el estudio técnico y ambiental del sistema de tratamiento en el cual se debe de dar una descripción del proyecto y actividades a realizarse durante su operación, se deben de proporcionar antecedentes y acciones que se llevara a cabo para el mejoramiento del sistema y garantizar la disminución e impedimento hacia efectos negativos al medio ambiente, se dice que:

La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, dictada en 1994, establece exigencias ambientales para los proyectos de inversión y determina cuáles de ellos deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Esta decisión es responsabilidad final de la Comisión Regional o Nacional del Medio Ambiente, según corresponda, así como también la administración del sistema y la coordinación de los organismos del Estado involucrados para los efectos de obtener los permisos o pronunciamientos requeridos. (Sarmiento, 2007, p. 69)

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Contexto general**

El sistema de tratamiento de aguas residuales está diseñado para la evacuación de aguas servidas en una subestación eléctrica, comprendida por las siguientes instalaciones: edificio de control, casetas de control y caseta de portería.

Estas instalaciones pertenecientes de forma indispensable en una subestación eléctrica en operación, en las cuales se generan desechos residuales producidos por el personal laborando en las instalaciones al igual de personas visitantes, de las cuales se estiman que en promedio para un periodo de un mes ya han utilizado los servicios sanitarios un promedio de 25 personas, incluyendo a personal de la empresa que se ubica en las instalaciones de forma constante como visitantes que puedan asistir de forma intermitente al lugar.

En áreas rurales en donde no se cuente con conexión al sistema de aguas residuales se cuente con un sistema de tratamiento de aguas servidas individual, tal cual es común ver sistemas tales como fosas sépticas, campos de infiltración, aboneras, letrinas, esto para el uso de un promedio de familias con un núcleo de aproximadamente cuatro o cinco integrantes, pero para una subestación eléctrica en operación se estima el uso promedio de 25 personas, en este caso, el sistema a utilizar debe ser comprendido por un sistema más complejo, que asegure eliminar todo elemento contaminante existente en las aguas servidas, tal cual es

el uso de un biodigestor y su campo de infiltración, para la correcta ejecución de la evaluación del sistema de servicios.

### **3.2. Descripción del problema**

Entre la principal problemática para una subestación eléctrica sin acceso al drenaje municipal es del determinar hacia donde se evacuan las aguas servidas, seguido del tratamiento aplicado a las aguas residuales se procede a filtrar nuevamente al suelo por medio de un campo de infiltración, el cual regresara al manto freático el agua sin contaminantes, más sin embargo un tratamiento que cuente con etapa primara, secundaria y terciaria tiene el inconveniente de ocupar una disposición física mayor, por lo que se requiere optimizar distancias para el tratamiento del mismo, dando la alternativa del uso de biodigestor con un campo de filtración, el cual reduce en gran parte las dimensiones a ocupar para la disposición del sistema de tratamiento de aguas residuales en la subestación, siempre cumpliendo con lo que redacta el acuerdo gubernativo 20.

Por lo que es de suma importancia el realizar un estudio técnico y ambiental a la implementación del uso de un biodigestor para el tratamiento de aguas servidas en una subestación, el cual vendría a sustituir al sistema de tratamiento convencional, el cual es eficiente pero ya que su disposición con relación al espacio requerido es considerable en subestaciones eléctricas en donde el tamaño final del terreno es importante ya que se quieren implementar instalaciones más compactas, se necesita un tratamiento igual de eficiente pero con una disposición menor.

### **3.3. Formulación del problema**

Para poder plantear el problema principal se establece una serie de preguntas que tienen como principal objetivo el poder delimitar de la mejor manera el alcance que se desea obtener con el diseño de investigación.

#### **3.3.1. Pregunta central**

- ¿Es recomendable la utilización de un sistema anaeróbico por medio de un biodigestor para el tratamiento de aguas negras producidas por una subestación eléctrica en operación?

#### **3.3.2. Preguntas auxiliares**

- ¿Un tratamiento primario elimina los contaminantes que se encuentran en las aguas servidas?
- ¿Afecta al sistema de tratamiento la reducción de su disposición física final?
- ¿Es necesario un proceso de clorificación para el tratamiento de aguas residuales tratadas previo a ser filtrado al suelo?

### **3.4. Delimitación del problema**

Es de suma importancia poder establecer los principales límites en el desarrollo de una investigación, a continuación se presenta la delimitación contextual, geográfica e histórica del problema en el cual se centra la investigación en estudio.

#### **3.4.1. Delimitación contextual**

En Guatemala el acuerdo gubernativo vigente es el 236-2006, el cual se encarga de regular las condiciones que se deben cumplir para el tratamiento de aguas residuales producidas, en la que determina límites técnicos, químicos, que garantizaran el adecuado cuidado del medio ambiente para cuando se regresen dichas aguas a la naturaleza. Se lleva a cabo la caracterización de sus parámetros y límites permitidos para lograr garantizar bajo estas condiciones un tratamiento adecuado de las aguas servidas, cuidando el medio ambiente y ofreciendo tranquilidad a la población aledaña al lugar.

#### **3.4.2. Delimitación geográfica**

Para el desarrollo del estudio técnico y ambiental, es dentro del marco territorial de la república de Guatemala, con historial de proyectos ya en operación en subestaciones eléctricas y de proyectos en desarrollo en donde este en proceso la implementación de esta clase de sistema de tratamiento de aguas residuales.

### **3.4.3. Delimitación histórica**

Para el desarrollo del estudio e investigación se establece que formara parte todo sistema de tratamiento ya en operación en el que se encuentre el estudio de impacto ambiental que haya cumplido según lo requerido en el acuerdo gubernativo 236-2006.



## 4. JUSTIFICACIÓN

Como parte de las líneas de investigación en la Escuela de Estudios de Postgrado, para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, se llevará a cabo la propuesta de un protocolo para aumentar la confiabilidad en el sistema y disminuir el riesgo de contaminación existente.

El tema a desarrollarse corresponde a la línea de investigación Ambiental, a la sección Gestión y manejo ambiental, impactos y medidas de mitigación en sistemas de agua potable, desechos sólidos, aguas residuales, sistemas atmosféricos, líticos y ecosistemas acuáticos y terrestres, en la que se ve el tratamientos de agua y disposición final de efluentes líquidos, enfocado en las aguas negras producidas por una subestación eléctrica sin acceso a un drenaje municipal, queriendo aportar una evaluación técnica y ambiental del uso eficiente de un sistema comprendido por un biodigestor para garantizar la no contaminación de algún afluente cercano.

El tratamiento aeróbico es el común utilizado en una subestación eléctrica, el cual comprende un tratamiento primario secundario y terciario, para lo que la implementación de un sistema anaeróbico por medio de un biodigestor produciría un beneficio a la empresa en relación al menor espacio requerido para su instalación y su correcto funcionamiento, los resultados obtenidos en el desarrollo de este tema determinarían su impacto ambiental y si es un buen sustituto del sistema de tratamiento implementado actualmente para el tratamiento de aguas negras, además de beneficiar a la población aledaña garantizando la no contaminación de su comunidad con las aguas negras producidas, con lo cual se debe de garantizar una instalación no contaminante.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Realizar un estudio técnico y ambiental para la implementación de un biodigestor en una subestación eléctrica sin acceso a un drenaje municipal para el tratamiento de aguas residuales producidas, por medio de un sistema anaeróbico.

### **5.2. Específicos**

- Identificar y evaluar los impactos ambientales originados durante la construcción y operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Garantizar que la construcción y operación de un sistema optimizado para el tratamiento de aguas residuales por medio de un biodigestor cumpla con el acuerdo gubernativo 236-2006, minimizando el impacto ambiental negativo que se genere y maximizando los impactos positivos
- Determinar si los procesos físicos y biológicos aplicados a un tratamiento primario por medio de un biodigestor para aguas residuales tratadas garantiza la eliminación de contaminantes previo a ser filtrado al suelo.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN**

El mal desecho de las aguas residuales producidas pueden ser puntos focales de contaminación, al igual de poder ser causas de enfermedades debido a la contaminación en el agua que esto representa. Para una subestación eléctrica que en su mayoría se encuentran ubicadas en zonas rurales, en donde no se cuenta con acceso a un drenaje municipal, es de suma importancia contemplar otras opciones tal cual filtrar las aguas tratadas para garantizar un proceso no contaminante para regresar el agua a su ciclo natural. Cada sistema de tratamiento de aguas residuales de una subestación nueva, previo a entrar en operación, debe ser evaluada con pruebas de funcionamiento y de reducción de impacto ambiental que estas puedan producir durante su operación, dentro de las cuales, cabe la aplicación de la propuesta de esta diseño de investigación, el cual es el protocolo de evaluación técnica y ambiental para el uso de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales previo a ser filtrado al suelo.

El proceso a realizarse se desarrollará por fases secuenciales, el cual cuenta con diferentes etapas para la puesta en operación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, aplicado a una subestación eléctrica, considerando parámetros de diseño y parámetros ambientales a cumplir para la no contaminación del medio ambiente.

Se cuenta con la autorización de la empresa Transportadora de Energía de Centroamérica S.A. (TRECESA) para la ejecución del estudio técnico y ambiental aplicado a subestaciones en operación y subestaciones en proceso de construcción, esto durante las etapas de recolección de fuentes bibliográficas durante el desarrollo de esta investigación.



## 7. MARCO TEÓRICO

Para el tratamiento de aguas residuales es de suma importancia el tomar en cuenta los parámetros necesarios a cumplir según el acuerdo gubernativo 236-2006 aplicado para el tratamiento de aguas residuales. Para una subestación eléctrica sin acceso a un drenaje municipal es importante considerar el tener un sistema de tratamiento propio, en el cual se garantice el cumplimiento con el medio ambiente para la no contaminación del medio ambiente, por medio de un sistema de tratamiento eficiente que cumpla con dichos acuerdos.

Cuando se le da tratamiento a las aguas residuales es de importancia contemplar los criterios necesarios para el diseño y la puesta en operación del mismo, Sarmiento, (2007) define:

El caudal que se infiltra en el alcantarillado, el cual depende de las profundidades del nivel freático del agua, y de la tubería, de la permeabilidad del terreno, el tipo de junta, la calidad de mano de obra utilizada y de la supervisión técnica de la construcción. Puede calcularse de dos formas: en litros diarios por hectárea o litros diarios por kilómetro de tubería, se incluye la longitud de la tubería de las conexiones domiciliarias, asumiendo un valor de 6.00 m por cada casa; la dotación de infiltración varía entre 12000 u 18000 litros/km/día. (p.12)

## **7.1. Tipos de tratamientos para aguas residuales**

Para el tratamiento de las aguas negras es importante determinar el tipo de residuos o contaminantes que contienen, existiendo una serie de tratamientos descritos de la siguiente manera:

### **7.1.1. Pre-tratamiento**

Previo a la primera etapa del tratamiento de aguas residuales se encuentra el pretratamiento, en el cual se realiza una regulación mediante la medición del caudal con el cual se requiere lleva a cabo la evacuación de aguas servidas, con el fin de poder eliminar todo solido de un tamaño considerable, arena, grasa o desechos que pudiesen existir en el sistema, todo esto mediante un filtrado.

### **7.1.2. Pre-aireación**

Parte también del pretratamiento, mediante el cual se busca disminuir los compuestos orgánicos volátiles que se encuentren disueltos en el agua, los cuales son los que producen todo mal olor y que logran aumentar la demanda química de oxígeno (DQO) del agua, para este proceso se utilizan dispositivos tales como pozo de gruesos, el desbaste de gruesos y finos, de igual manera el desarenado y desengrasado

### **7.1.3. Tratamiento primario**

En esta primera etapa del tratamiento se trata de eliminar la mayor cantidad de solidos suspendidos que puedan existir en el sistema de aguas residuales, lográndolo por medio del proceso de sedimentación gravitatoria o de igual manera mediante el proceso de precipitación.

Seguido de la eliminación de sólidos suspendidos se añaden compuestos tales como lo son: el aluminio, polielectrolitos floculantes y lo que son sales férricas, además del uso de maquinaria hidráulica, para lograr precipitar el fósforo que se encuentre disuelto en un estado suspendido muy fino.

Para el desarrollo del mismo se puede hacer uso de diferentes métodos, tales como: sedimentación gravitatoria mediante el decantador primario, la separación de partículas en suspensión mediante burbujas a través del flotador por aire disuelto.

#### **7.1.4. Tratamiento secundario**

Para la segunda etapa se tiene como principal objetivo la eliminación de toda materia orgánica disuelta que pueda existir y que este en estado coloidal, por medio de la oxidación bioquímica. En esta etapa se agregan sustancias biológicas que son originadas por todo desecho humano, con el que se tiene el proceso aeróbico y anaeróbico.

#### **7.1.5. Tratamiento terciario**

Esta corresponde a la etapa final del tratamiento de aguas residuales, el cual se enfoca en la eliminación de patógenos existentes, tales como bacterias de origen fecal, nitrógeno y fósforo, previo a ser devuelto al ciclo del agua por medio de descargas a lugares permitidos y regulados por las entidades correspondientes.

El tratamiento terciario se encarga de remover y eliminar los sólidos suspendidos, nutrientes, materia orgánica biodegradable y no biodegradable, patógenos, además de eliminar el color y olor indeseables, compuestos químicos como lo son los detergentes, fosfatos y nitratos, que no fueron eliminadas en los tratamientos anteriores. (Achuri Vargas y Bustos Castro, 2021, p. 110)

La eliminación de todo nutriente existente se debe de realizar en esta etapa, tal cual es el caso del nitrógeno, este se elimina mediante la oxidación biológica de bacterias, en este proceso de desnitrificación, todos los nitratos y nitritos deben de ser tratados por dichas bacterias bajo condiciones anaerobias, formando  $\text{CO}_2$  y también presencia de agua, estos como productos finales, además de nitrógeno gaseoso.

La presencia de fósforo se elimina por medio del proceso de retiro biológico en el cual, toda existencia de bacterias acumuladoras de polifosfatos va recogiendo el fósforo del agua dentro de ellas, en la que el fango resultante actúa como un ligero inconveniente frente a la mejora de eficiencia con relación al proceso de eliminación de fósforo.

## **7.2. Biodigestor**

Uno de los distribuidores más reconocidos en el mercado para la venta de este sistema es el grupo Rotoplas, el cual tiene en el mercado este sistema de tratamiento en diferentes volúmenes según sea la necesidad a cubrir en sitio.

“Los biodigestores conocidos también como plantas (productoras o de producción) de biogás, son recintos o tanques cerrados donde la materia orgánica y el agua residual permanecen un periodo de tiempo para lograr su descomposición produciendo biogás y bioabono” (Olaya Arboleda y González Salcedo, 2009, p. 22).

### **7.2.1. Biodigestor y sus acciones**

Un biodigestor tiene entre sus funciones el poder reducir toda presencia existente de contaminantes, por medio de la degradación de toda materia orgánica que pueda estar presente en las aguas residuales, mediante el proceso de digestión anaeróbica, en el cual los microorganismos que generalmente son bacterias, las cuales descomponen toda materia orgánica biodegradable existente.

### **7.2.2. Beneficios del uso de biodigestor**

- Es un sistema de fácil instalación
- Su funcionamiento es básico
- Costos de operación nulos
- Mantenimiento fácil
- Vida útil en promedio de 25 años o mas

### **7.2.3. Proceso anaeróbico**

En el proceso anaeróbico se logra:

- Eliminar todo contenido de materia orgánica que pueda existir en las aguas servidas.
- Reducir el contenido de nutrientes.

- Eliminar parásitos y patógenos existentes.
- Prevenir proliferación de moscas y malos olores que se puedan producir
- Aprovechamiento de los lodos resultantes, para el mejoramiento de suelos y abono para las plantas.

### 7.3. Parámetros máximos permisibles para el tratamiento de lodos

Luego de tratar las aguas residuales y haber producido lodos, para efectuar la disposición final de los mismo según el acuerdo gubernativo 236-2006 en su artículo 41, se deben de cumplir con las propiedades fisicoquímicas descritas en la siguiente tabla, en la que no es permitido el exceder los límites máximos permisibles, siendo esta:

Tabla I. Límites máximos permisibles para lodos

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	>100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	>100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	>3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	>50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	>1000

Fuente: MARN. (2015). *Acuerdo Gubernativo 236-2006*

“Es común que los lodos secundarios se combinen con los lodos primarios para tratamiento adicional por medio de un proceso biológico anaerobio”. (Valdez y Vázquez, 2003, p. 222).

#### **7.4. Análisis Microbiológico de aguas residuales**

Este se encuentra comprendido por microorganismos totales, Coliformes fecales y Coliformes totales, de las cuales existe en el mercado un gran medio de cultivos, que se encargan del estudio específico de cada uno de estos.

Los microorganismos metanogénicos poseen las siguientes características: emplean ácido acético e hidrógeno, tienen una tasa de crecimiento baja por lo que su metabolismo limita el tratamiento anaerobio de la materia orgánica, sus desechos tienen la suficiente estabilidad para producir metano y dióxido de carbono como residuos finales. (Sánchez Gongora, 2016, p. 106)

##### **7.4.1. Microorganismos patógenos**

Están conformados por subgrupos los cuales son: Coliformes termo tolerantes y Coliformes totales.

En relación a los microorganismos patógenos está comprendido por: virus, protozoos y bacterias, en las aguas subterráneas se pueden encontrar las bacterias y virus al igual que en las aguas superficiales, mientras que es mucho más común notar la presencia de protozoos en las aguas superficiales.

#### **7.4.2. Coliformes fecales**

Estas son especies de bacterias que tienen entre sus principales características bioquímicas de gran relevancia en los indicadores de contaminación en las aguas residuales, esto a que son producidos en las heces fecales.

Los Coliformes fecales son un subgrupo de los Coliformes totales son capaces de fermentar la lactosa a  $44.5 \pm 0.2$  °C. Estas características se relacionan con los organismos y microorganismos, en particular, bacterias y virus entre otros causantes de enfermedades. La gran mayoría de los países determina los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) adaptándolo a sus circunstancias. (Santos, 2015, p 55)

#### **7.4.3. Coliformes Termo tolerantes**

Los Coliformes termo tolerantes son capaces de fermentar la lactosa a  $44.5 \pm 0.2$  °C. Estas características se relacionan con los organismos y microorganismos, en particular, bacterias y virus entre otros causantes de enfermedades. “La gran mayoría de los países determina los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) adaptándolo a sus circunstancias”. (Santos, 2015, p. 77)

#### **7.4.4. Desechos orgánicos**

Estos son residuos producidos por los seres humanos con heces descompuestas por medio de bacterias aeróbicas, en procesos con un consumo de O<sub>2</sub>.

#### **7.4.5. Demanda química de oxígeno**

Esta es una medición indirecta realizada al agua, en la que se mide la cantidad de materia orgánica que exista por medio de una muestra, además analiza la cantidad de oxígeno que se requiere para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica por medios químicos y luego poder convertirla a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, se sabe que el agua está muy contaminada cuando el valor del DQO sea alto.

Esta prueba en realizarse toma un tiempo de tres horas, siendo un tiempo menor que la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno.

#### **7.4.6. Demanda bioquímica de oxígeno**

Esta es una cantidad de oxígeno que pueden presentar las bacterias aeróbicas o anaeróbicas, al igual que los microorganismos, los cuales consumen durante la degradación que puede existir en las sustancias orgánicas contenidas en las muestras tomadas, esta se utiliza para medir el grado de contaminación que existe en las aguas servidas.

La demanda bioquímica de oxígeno es un proceso biológico, lo cual lo hace un proceso delicado y que requiere mucho más tiempo comparado con el proceso de la demanda química de oxígeno, principalmente depende de la temperatura.

## **7.5. Técnicas de valoración bacterianas indicadoras de contaminación fecal**

Para la identificación y determinación del nivel de contaminación que los desechos pueden contener en las aguas negras producidas se toma como referencia los límites tolerados por el ser humano, los cuales producen un alto nivel de contaminación ambiental, para lo cual se tiene como referencia las siguientes técnicas:

### **7.5.1. Filtración por membrana**

Consiste en la técnica del crecimiento, identificación y recuento de los microorganismos que se encuentran retenidos en la superficie de un filtro, en el cual se ha filtrado un el total de un volumen de agua conocido, el cual durante un tiempo determinado es incubado en un medio de cultivo a una temperatura adecuada, resumen del procedimiento:

- Preparación del equipo de filtración
- Colocación de membrana filtrante
- Vertido del volumen de muestra a filtrar
- Filtración
- Lavado y desmontado del embudo
- Retirada del embudo de filtración
- Colocación de la membrana en la placa de petri
- Incubación
- Recuento de colonias y cálculo de concentraciones

### 7.5.2. Diluciones sucesivas y valoración según el NMP

Para la valoración según el número más probable (NMP) en la aplicación en la técnica de las diluciones sucesivas se comprende que el método es de enumeración indirecta, donde se realiza la interpretación estadística de todo el crecimiento y no crecimiento que se pueda observar en varias series de tubos, inoculados, los cuales contienen volúmenes decrecientes de una muestra de agua.

El principal objetivo del método es la identificación, desarrollo y la cuantificación de los microorganismos que puedan crecer en cierto medio de cultivo.

Tabla II. **Diluciones recomendadas**

Diluciones recomendadas para la ampliación del método del número más probable, según el microorganismo considerado y el grado de contaminación del agua.									
Tipo de agua	Coliformes totales			Coliformes fecales			Estreptococos fecales		
Agua residual	$10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5}$ $10^{-6}$			$10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5}$ $10^{-6}$			$10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5}$		
Efluente secundario	$10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5}$			$10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5}$			$1 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}$		
Agua de mar contaminada	10	1	$10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}$	10	1	$10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}$	10	1	$10^{-1}$
Agua de mar limpia	10	1	$10^{-1}$	10	1	$10^{-1}$	100	10	1
Agua consumo humano	10	1	$10^{-1}$	10	1	$10^{-1}$	100	10	1

Fuente: MICROLAB. (2015). *Análisis de Coliformes fecales*

## **7.6. Estreptometría confirmativa**

Tiene como principal objetivo el confirmar la presencia de estreptococos fecales, su procedimiento general está definido como:

De cada tubo considerado positivo en la prueba presuntiva, se toma una muestra con un asa de sembrar o bien con una pipeta Pasteur estéril, diferente para cada tubo, y se inocula en un tubo con 10 ml de caldo Violeta de etil-glucosa azida sódica, o medio de Litski. Después se incuban durante  $24 \pm 2$  horas a  $37 \pm 0,5$  °C. (Santos, 2015, p. 25).

Con relación a los resultados, estos son considerados positivos cuando en los tubos se presente crecimiento, presentando la aparición de turbiedad y la aparición de un precipitado color blanco y violeta, para lo cual se debe de determinar la concentración de EF usando la tabla I, según el método del número más probable

## **7.7. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006**

En Guatemala el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, está comprendida según el acuerdo gubernativo No. 236-2006, establecido el 5 de Mayo de 2006, en el cual se tiene como objeto el poder velar por el mantenimiento del compromiso hacia el medio ambiente con la no contaminación, por medio del equilibrio ecológico, ambiental y calidad, estableciendo los criterios que deben de cumplirse para el tratamiento de aguas residuales para la descarga y reuso de las mismas, de igual manera para la disposición de lodos.

Lo que se busca con este acuerdo es el poder establecer los mecanismos necesarios para la evaluación, control y el seguimiento correspondiente por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, el cual promueve la conservación y todo mejoramiento que se le pueda dar al recurso hídrico.



## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS  
ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. ANTECEDENTES**

#### **1.1 Utilización de biodigestores**

1.1.1 Empresas distribuidoras

1.1.2 Tipos de biodigestores

1.1.3 Normativos vigentes

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Parámetros de diseño**

2.1.1 Especificaciones técnicas

2.1.2 Especificaciones ambientales

- 2.1.3 Normativo vigentes de diseño
- 2.1.4 Acuerdo Gubernativo 236-2006
  
- 2.2 Tratamiento de aguas residuales
  - 2.2.1 Tratamiento preliminar
  - 2.2.2 Tratamiento primario
  - 2.2.3 Tratamiento secundario
  - 2.2.4 Tratamiento terciario
  - 2.2.5 Tratamiento propuesto
  - 2.2.6 Tratamientos alternativos
  
- 2.3 Tratamiento Anaeróbico
  - 2.3.1 Parámetros generales
  - 2.3.2 Parámetros de caja trampa de grasas
  - 2.3.3 Parámetros de caja tanque séptico
  - 2.3.4 Especificación de filtro anaeróbico de flujo ascendente
  - 2.3.5 Campo de infiltración
  - 2.3.6 Análisis del sistema constructivo del sistema
  
- 2.4 Mantenimiento
  - 2.4.1 Mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales
  - 2.4.2 Mantenimiento del filtro anaeróbico de flujo ascendente
  - 2.4.3 Mantenimiento tanque séptico

- 2.4.4 Mantenimiento de campo de filtración
- 2.4.5 Características Principales de los sistemas de tratamiento
- 2.4.6 Confiabilidad de accesorios

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Ensayos de Laboratorio

- 3.1.1 Toma de muestras en sitio
- 3.1.2 Análisis de laboratorio
- 3.1.3 Análisis de DQO y DBO
- 3.1.4 Análisis de patógenos
- 3.1.5 Análisis de coliformes
- 3.1.6 Análisis de porcentajes de recuperación

#### 3.2 Métodos Químicos

- 3.2.1 Métodos químicos de separación
- 3.2.2 Métodos químicos de análisis
- 3.2.3 Métodos instrumentales de análisis

### 4. PROPUESTA ECONOMICA

- 4.1 Análisis general de puesta en operación de un sistema de tratamiento aguas residuales
  - 4.1.1 Impresión y entrega de planos de localización y ubicación.
  - 4.1.2 Honorarios de profesionales

4.1.3 Administración, viáticos y gastos de proyecto

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA**

El desarrollo del estudio e investigación es de tipo cuantitativa-descriptiva, el cual, estará basada en una metodología que guíara y proporcionara las herramientas y métodos que facilitaran el desarrollo del trabajo, una forma ordenada y sistematizada que se enmarque en los objetivos definidos. En las siguientes partes de esta sección caracterizaremos nuestra investigación definiendo, su diseño, enfoque, alcance, así como la relación de las variables y fases del estudio, para finalizar con un detalle de los resultados esperados

### **9.1. Características del estudio**

Se define cada una de las características que tendrá el trabajo de investigación para realizar el estudio técnico y ambiental a desarrollarse los siguientes componentes de la metodología propuesta:

#### **9.1.1. Enfoque**

El enfoque del estudio propuesto está dividido en dos etapas, en una primera etapa será cuantitativo porque se determinara cierto número de muestras a tomarse en campo para luego ser llevadas a laboratorio, de igual manera datos técnicos tales como caudal de diseño, volumen de almacenamiento en biodigestor, tiempo de tratado de aguas, posteriormente en una segunda etapa tendrá un enfoque cualitativo al inferir de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio, en donde se determinara si el tratamiento tiene alta, media o baja confiabilidad, fiabilidad y rapidez, por lo anterior podemos concluir que nuestro enfoque será del tipo Mixto.

### **9.1.2. Alcance**

La presente investigación tiene un alcance de tipo exploratorio, debido a que en Guatemala únicamente se cuenta con el acuerdo gubernativo 236-2006, el cual establece parámetros a cumplir con relación a la calidad y nivel de contaminación de aguas residuales, como resultado de la investigación se propondrá un estudio técnico y ambiental, donde se indique si el sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de un biodigestor es eficiente y si cumple con los parámetros establecidos según acuerdo gubernativo.

### **9.1.3. Diseño**

El diseño a seguir es de carácter experimental, esto porque las variables que forman parte del estudio son manipulables, como lo son las muestras tomadas en sitio del agua antes y después de ser tratadas, con el fin de obtener parámetros de referencia con relación al nivel de descontaminación que se logra tener en el agua ya tratada en la etapa primaria del biodigestor.

## **9.2. Unidad de análisis**

La población en estudio serán las subestaciones eléctricas con un sistema de tratamiento de aguas residuales ubicadas en zonas donde el acceso a un drenaje municipal sea poco probable, además del estudio de impacto ambiental que se realizara en el sector ubicado, de cómo afectaría dicho sistema de tratamiento del no funcionar correctamente.

### 9.3. Variables

Se determina que para el estudio se tienen variables cuantitativas y cualitativas. Las variables en estudio se describen a continuación:

- Cuantitativas: todas las muestras que se puedan tomar en sitio para el ensayo de laboratorio a realizarse, con el fin de determinar el nivel de contaminación existente en el agua ya tratada
- Cualitativas: Clasificación de las muestras, resultados de los ensayos de laboratorio asignados a las muestras, en los cuales se clasificará el agua y su nivel de contaminación para luego determinar si es apto para ser filtrada en el suelo. Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla III. Clasificación de variables

Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de Medición
	Variable	Dicotómica	plicotómica	Discreta			
Biodigestor			X			X	Razón
Tratamiento anaeróbico			X			X	Razón
Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de Medición
Variable	Dicotómica	plicotómica	Discreta	Continua			
Confiability				X		X	Razón
Eficiencia				X		X	Razón
Criterio	Categoría		Numérica		Manipulable	Observable	Nivel de Medición
Variable	Dicotómica	plicotómica	Discreta	Continua			
Estudio técnico				X		X	Razón
Estudio ambiental				X		X	Razón

Fuente: elaboración propia.

## **9.4. Fases del estudio**

Para cumplir con los objetivos, se planifica la investigación en fases, las cuales se describen a continuación:

### **9.4.1. Fase 1. Recolección y revisión documental**

Se llevará a cabo una primera fase de recolección de la información donde se consultará en la literatura especializada las función de sistemas de tratamientos de aguas residuales en zonas rurales, en las que no se cuenta con acceso a drenajes municipales o plantas de tratamiento cercanos, en los cuales se pueda desembocar dichas aguas. Se tomará como fuentes, libros, ensayos, manuales de fabricantes, tesis de Maestrías, ensayos de personal especialista en el área de aguas, Acuerdo gubernativo 236-2006.

### **9.4.2. Fase 2. Parámetros de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales**

En la segunda fase se llevará a cabo la caracterización de parámetros de diseño para la construcción y ejecución de un sistema de tratamiento primario por medio de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales, en donde es de importancia no descartar parámetros a cumplir tales como el buen dimensionamiento del biodigestor, la ubicación del mismo, caracterización de materiales y funcionamiento del mismo.

#### **9.4.3. Fase 3. Estudios de impacto ambiental**

Para la tercera fase se realizará la verificación del cumplimiento de acuerdo gubernativo 236-2006 para el tratamiento de aguas residuales en una subestación eléctrica posterior a ser puesta en operación, dando un lapso de tiempo de 30 días en funcionamiento.

#### **9.4.4. Fase 4. Analizar la calidad de agua tratada y ensayos de laboratorio**

Para la cuarta fase, posteriormente a la caracterización del líquido tratado, de la toma de muestras tomadas, llevar a cabo el análisis de laboratorio para poder determinar si el agua tratada cumple o no con los parámetros mínimos y máximos establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006, para lograr garantizar la disminución de contaminación a los afluentes cercanos y a los pobladores asegurarles la no creación de posibles fuentes de enfermedades.

#### **9.4.5. Fase 5. Unificar criterios de estudios realizados**

La quinta fase, con los estudios técnicos y ambientales a realizarse al sistema, unificar en un informe final en el que se detalle de mejor manera las etapas desde su construcción hasta la operación y evacuación del agua tratada en un sistema primario anaeróbico, verificando el cumplimiento al compromiso ambiental al que se quiere llegar.

#### **9.4.6. Fase 6. Análisis de resultados y proceso de mejora**

Uno de los propósitos de la investigación es evidenciar en el momento que se realicen los estudios técnicos y ambientales, sus resultados puedan determinar si las mismas son satisfactorias o por el contrario se deben proponer otro tipo de tratamiento, por lo tanto se debe repetir el mismo ensayo a diferentes muestras en diferentes tiempo, todas aquellas que no sea satisfactorio hasta que si lo sea.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Siguiendo el planteamiento de Piloña (2012) que establece la importancia de aplicar el método científico, en sus tres fases, integradas en una fase de indagación reflejada en la recolección de información primaria por medio de la encuesta y secundaria a través de literatura en libros y textos.

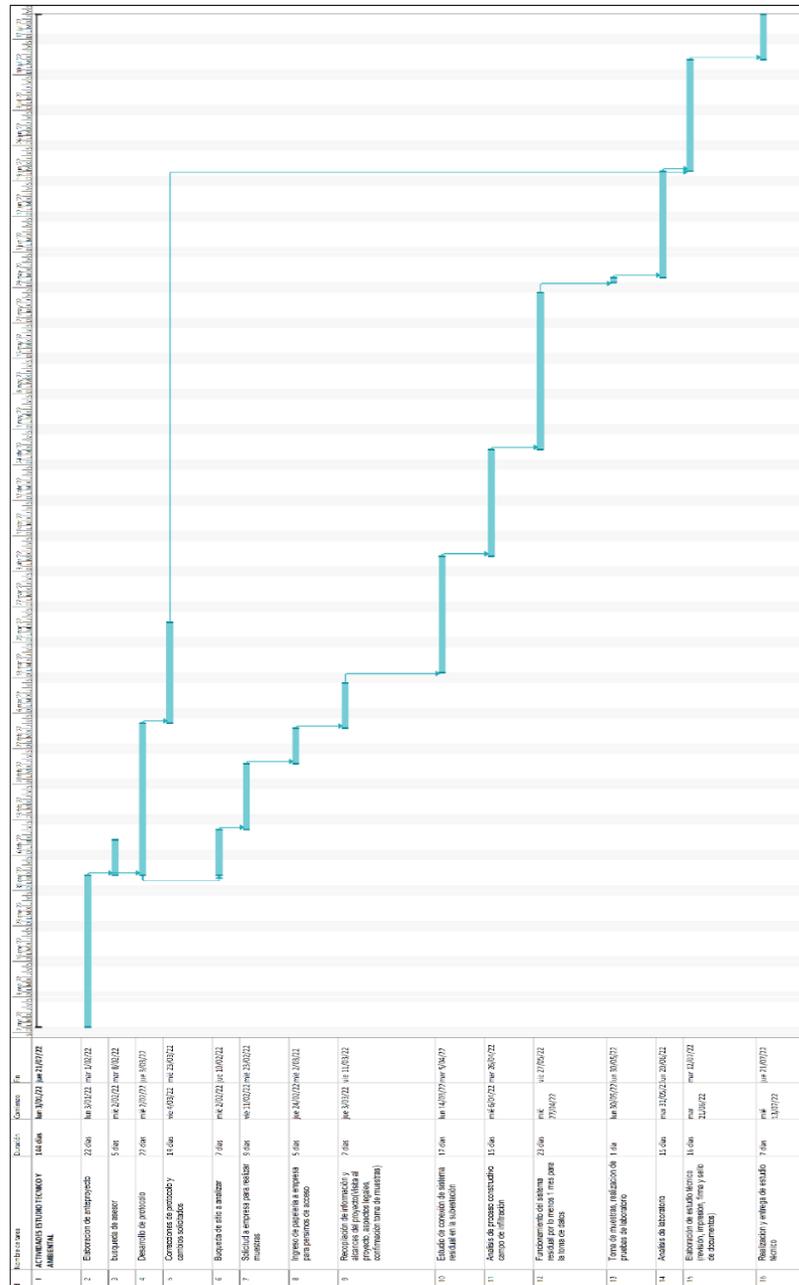
En la primera fase de la investigación se usará la técnica de observación indirecta mediante la observación se harán consultas en documentos o literatura sobre estudios similares previos realizados al tratamiento de aguas residuales, que guarden información de ensayos de laboratorio realizados a sistemas de tratamiento, en las que se verifique si cumple con el acuerdo gubernativo 236-2006.

La estadística descriptiva será de suma importancia en la elaboración de tablas basadas en los datos recopilados mediante la técnica del formulario y que permitan establecer el contenido de contaminación en el agua según sea el proceso complementario al tratamiento por medio de un biodigestor. Se utilizará la herramienta Excel, para construir las tablas donde se agrupen por variables, los parámetros del sistema de tratamiento, tipos de contaminantes y sus porcentajes y niveles de presencia en las aguas ya tratadas, con el fin de determinar si se cumple con el compromiso de disminuir el riesgo de contaminación en el ambiente de zonas aledañas a la subestación eléctrica.



# 11. CRONOGRAMA

Figura 1. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, programa Microsoft Project



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el correcto desarrollo de este trabajo de Investigación se define que la responsabilidad en la mayor parte corresponde al investigador, por lo que la viabilidad desde los diferentes aspectos que lo comprenden, debe ser objeto de una evaluación lo más próximo a la realidad ya que esto permitirá realizar una evaluación con el objeto de determinar si tiene el recurso financiero para poder cumplir con los objetivos trazados. En cuanto al recurso material como el uso de mobiliario, equipo y automóvil solo se tomó como costo una depreciación por su uso y no el precio del mismo por ser recursos con los que ya se contaba por parte del investigador.

Recurso Humano: El investigador dedicara en promedio 14 horas a la semana en el desarrollo de la investigación, dedicando un aproximado de 2 horas diarias, esto únicamente en la fase de investigación, recolección de datos, toma de fotografías en sitio en el proceso de construcción y operación del sistema de tratamiento, por lo que se debe de contar con la autorización respectiva de la empresa.

Recurso material y tecnológico: el uso de computadora personal, teléfono, vehículo eventualmente, energía eléctrica, gastos de alimentación por desplazamientos a él o lugares de los proyectos, hojas, material de oficina y presentación final del proyecto.

La factibilidad y resultado satisfactorio de todo proyecto de investigación, está basado en las facilidades para el acceso a la información, que es básica para el estudio del problema a resolver y la disponibilidad del recurso económico, tanto para realizar la investigación como el financiamiento para su implementación.

Para este diseño de investigación, ya se cuenta con la colaboración de una de las empresas transportistas (TRECESA) y está anuente a través de su departamento de proyectos y medio ambiente de brindar la información requerida que sea importante para el proyecto. El financiamiento de la investigación será a cuenta del investigador partiendo de la evolución de los costos y que están acordes con sus posibilidades económicas, concluyendo que se cuenta con los recursos financieros que permiten completar cada una de las fases de la investigación y por lo tanto es viable su realización en el tiempo planificado.

A continuación, se detalla el presupuesto destinado a la investigación:

Tabla IV. **Presupuesto recurso humano**

<b>ITEM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>	<b>Fuente Financiamiento</b>
1	Tesista/Investigador	Q500.00	6 meses	Q8,000.00	Recurso propio
2	Asesor Académico	Q4,000.00	global	Q4,000.00	Recurso propio
<b>TOTAL</b>				<b>Q12,000.00</b>	<b>Recurso propio</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Presupuesto recurso tecnológico**

<b>ITEM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>	<b>Fuente Financiamiento</b>
1	Depreciación computador	Q750.00	6 meses	Q4,500.00	Recurso propio
2	Depreciación de vehículo	Q150.00	6 meses	Q900.00	Recurso propio
3	Impresora	Q350.00	global	Q350.00	Recurso propio
4	Teléfono	Q100.00	6 meses	Q600.00	Recurso propio
<b>TOTAL</b>				<b>Q6,350.00</b>	<b>Recurso propio</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla VI. **Presupuesto recurso material**

<b>ITEM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>	<b>Fuente Financiamiento</b>
1	Resma de papel bond	Q150.00	global	Q150.00	Recurso propio
2	Lapiceros y lapices	Q100.00	global	Q100.00	Recurso propio
3	Tinta de impresora	Q400.00	global	Q400.00	Recurso propio
4	Consumo de electricidad	Q50.00	6 meses	Q300.00	Recurso propio
<b>TOTAL</b>				<b>Q950.00</b>	<b>Recurso propio</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla VII. **Resumen de presupuesto**

<b>ITEM</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>	<b>Fuente Financiamiento</b>
1	Recurso humano	Q37,000.00	global	76%	Recurso propio
2	Recurso tecnológico	Q6,350.00	global	9%	Recurso propio
3	Recurso material	Q950.00	global	3%	Recurso propio
4	Imprevistos (5%)	Q2,215.00		4%	
5	Ensayos de laboratorio	Q12,000.00	6 meses	8%	Recurso propio
<b>TOTAL</b>		<b>Q58,515.00</b>		<b>100%</b>	<b>Recurso propio</b>

Fuente: elaboración propia

### 13. REFERENCIAS

1. Achuri Vargas, S., & Bustos Castro, S. (2021). *Propuesta de un diseño de un sistema individual de tratamiento de agua residual doméstica para una unidad habitacional de la zona rural en Colombia*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América..
2. Clares, C. Y. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domesticas a traves de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del Municipio de San Buenaventura*. La paz, Bolivia : Universidad Mayor de San Andrés.
3. Cruz, A. M. (2008). *Caracterización y tratamiento de aguas residuales*. Estado de Hidalgo.
4. Guitiérrez Builes, L., Ríos Tobón, S., & Agudelo Cadavid, R. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 112.
5. Olaya Arboleda, Y., & González Salcedo, L. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
6. Sánchez Gongora, M. (2016). *Evaluación Integral de un biodigestor de aguas residuales domésticas*. México: Instituto politécnico Nacional.

7. Santos Nina Mamani, B. (2015). *Evaluación de biodigestores de polietileno Rotoplast en el tratamiento de aguas residuales domésticas y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba-Espinar*. Perú: Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
8. Sarmiento Reyes, H. (2007). *Diseño del sistema de evacuación de aguas negras del mercado municipal y puente vehicular barrio pedregal, Municipio de San Benito, Petén*. Guatemala, Petén: Universidad de San Carlos.
9. Torrecillas, J. S., & Robles Martinez, A. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. València: Universidad Politécnica de València.
10. Valdez, E., & Vázquez González, A. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. México: Fundación ICA.