



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO LEGAL  
EN UN COMPLEJO HABITACIONAL DE UNA EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA**

**Diego Ricardo Ochoa Coronado**

Asesorado por el Msc. Ing. Jeremy Oseas Rodas Pleitéz

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO LEGAL  
EN UN COMPLEJO HABITACIONAL DE UNA EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DIEGO RICARDO OCHOA CORONADO**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. JEREMY OSEAS RODAS PLEITÉZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, JULIO 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 de Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
EXAMINADOR	Inga. Sindy Massiel Godinez Bautista
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 DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO LEGAL EN UN COMPLEJO HABITACIONAL DE UNA EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 18 de enero de 2022.

**Diego Ricardo Ochoa Coronado**



EEPM-PP-0639-2022

Guatemala, 26 de abril de 2022

Director  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

Estimado Ing. Urquizú

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 DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO LEGAL EN UN COMPLEJO HABITACIONAL DE UNA EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA**, 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 **Diego Ricardo Ochoa Coronado** carné número **200715106**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Pevio 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"*

Jeremy Oseas Rodas Pleitéz  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 12,714

Mtro. Jeremy Oseas Rodas Pleitéz  
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-EIMI-0639-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial 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 DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO LEGAL EN UN COMPLEJO HABITACIONAL DE UNA EMPRESA GENERADORA DE ENERGIA**, presentado por el estudiante universitario **Diego Ricardo Ochoa Coronado**, 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. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, abril de 2022

LNG.DECANATO.OI.545.2022

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 Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UNA PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CUMPLIMIENTO LEGAL EN UN COMPLEJO HABITACIONAL DE UNA EMPRESA GENERADORA DE ENERGÍA**, presentado por: **Diego Ricardo Ochoa Coronado**, 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, julio de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por permitirme culminar este proyecto y por todas las bendiciones que me ha dado.
- Mis padres** Manfredo Ochoa y Mirna Coronado. Por los sacrificios y esfuerzos que realizaron para que pudiera alcanzar esta meta, este logro es de ustedes.
- Mis hermanos** Emilio y Ligia Ochoa, por el apoyo incondicional y por todos los buenos momentos que hemos vivido.
- A toda mi familia** Por esa hermosa familia que siempre me ha apoyado y son un ejemplo por seguir.
- Mis sobrinos** Por darme tanto amor y ser tan especiales.
- Mi novia** Por su apoyo incondicional.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la casa de estudios que me permitió formarme como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por la educación recibida.
<b>Mis amigos y compañeros de la facultad</b>	Por compartir buenos momentos que han enriquecido mi vida.
<b>Mi asesor</b>	M.Sc. Ing. Jeremy Rodas, por su valiosa colaboración y conocimiento compartido.
<b>Mi novia</b>	Por su gran amor, cariño y comprensión.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1. Descripción del problema .....	7
3.2. Formulación del problema .....	7
3.3. Delimitación del problema.....	8
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. OBJETIVOS .....	13
5.1. General .....	13
5.2. Específicos.....	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Agua residual .....	17
7.1.1. Agua residual agrícola .....	17

7.1.2.	Agua residual industrial .....	18
7.1.3.	Agua residual pluviales.....	18
7.1.4.	Agua residual domestica .....	18
7.2.	Características y composición de las aguas residuales .....	19
7.2.1.	Características físicas .....	19
7.2.2.	Características químicas .....	22
7.2.3.	Características biológicas.....	24
7.2.4.	Composición de las aguas residuales domésticas .....	24
7.3.	Tratamiento de aguas residuales .....	25
7.4.	Funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales etapas del proceso .....	26
7.4.1.	Pretratamiento.....	26
7.4.1.1.	Desbaste.....	26
7.4.1.2.	Desarenado .....	26
7.4.1.3.	Desengrase .....	27
7.5.	Tratamiento primario .....	27
7.6.	Tratamiento secundario.....	27
7.7.	Tratamiento terciario.....	28
7.8.	Cumplimiento legal .....	28
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	31
9.	METODOLOGÍA .....	35
9.1.	Tipos de estudio de investigación.....	35
9.2.	Fases de investigación .....	35
9.2.1.	Primera fase (Investigación bibliográfica).....	36
9.2.2.	Segunda fase (recopilación de datos y caracterización del agua).....	36

9.2.3.	Tercera fase (Estudio técnico) .....	37
9.2.4.	Cuarta fase (Mantenimiento de planta de tratamiento) .....	37
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	39
11.	CRONOGRAMA.....	41
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	43
13.	REFERENCIAS.....	45



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Cronograma ..... 41

### TABLAS

- I. Composición promedio de un agua residual doméstica ..... 25  
II. Recursos necesarios para la investigación ..... 43



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Q</b>	Caudal
<b>cm</b>	Centímetros
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetros cúbicos
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno
<b>P</b>	Fósforo
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>m</b>	Metros
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>ml</b>	Mililitro
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>PTAR</b>	Panta de Tratamiento de Agua Residual
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>U Pt-Co</b>	Unidades de Platino-Cobalto





## GLOSARIO

<b>Aguas residuales</b>	Son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
<b>Aguas residuales de tipo ordinario domésticas</b>	Aguas residuales generadas por actividades domésticas tales como: uso en servicios sanitarios, o pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como la mezcla de las mismas.
<b>Biodigestor</b>	Instalación u obra cuyo propósito es la estabilización de materia orgánica por medios biológicos.
<b>Caracterización de una muestra</b>	La medición de los parámetros físicos, químicos y biológicos representativos de las aguas residuales en estudio.
<b>Caudal</b>	Volumen de un fluido que pasa por una sección transversal en la unidad de tiempo.
<b>Coliformes fecales</b>	Parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas, provenientes del tracto digestivo de los seres humanos y animales de sangre caliente.

<b>Cuerpo receptor</b>	Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	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.
<b>Demanda química</b>	Medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
<b>Parámetro</b>	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
<b>Remoción</b>	Contaminante reducido del agua residual luego de su tratamiento, mejorando la calidad del agua.
<b>Tratamiento de aguas</b>	Cualquier proceso físico, químico, biológico o combinada de estos, cuyo propósito es la eliminación de contaminantes presentes en las aguas residuales.

## RESUMEN

El presente trabajo plantea la mejora de una planta de tratamiento de aguas residuales de un complejo habitacional de una empresa de generación de energía hidráulica para el cumplimiento de los requisitos legales de las descargas de aguas residuales según la normativa nacional vigente.

Para abordar el problema se identificaron los requisitos legales a cumplir para la descarga de aguas residuales, se realizó una caracterización de agua residual del complejo habitacional para evaluar los parámetros fisicoquímicos de las aguas de la planta de tratamiento, y así poder proponer las mejoras necesarias a implementar para mejorar la calidad del efluente de la planta de tratamiento de tal manera que se cumpla con los parámetros anteriormente establecidos. Es de vital importancia que para el correcto funcionamiento de una planta de tratamiento se aborde el tema de implementar un procedimiento de operación y mantenimiento de los componentes de la planta para realizar un tratamiento lo más eficiente posible.

Con esta propuesta de diseño lo que se quiere lograr es cumplir con los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de los lodos* del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.



# 1. INTRODUCCIÓN

La descarga de aguas residuales sin tratamiento es un tema que afecta de forma generalizada en todo el país. Esto debido al escaso conocimiento y la poca cultura ambiental que han provocado la degradación cada vez mayor de los recursos naturales y la proliferación de aguas residuales en los ríos, lagos. Debido a la enorme cantidad de desechos líquidos vertidos en los sistemas de alcantarillado surge la necesidad de llevar a cabo el tratamiento, para su posterior descarga en los cuerpos acuíferos y así evitar la contaminación de estos.

En Guatemala, los tratamientos de aguas residuales se rigen bajo el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, sin embargo, ha sido muy complicado poder verificar el cumplimiento por los entes encargados en el país. Para resolver esta problemática se deben realizar un tratamiento adecuado a las aguas residuales que se generan antes de realizar la descarga directa a los efluentes, esto es un desafío importante debido a que la mayoría de las plantas se diseñan o dimensionan inadecuadamente.

Se pretende por medio de esta investigación poder cumplir con los parámetros establecidos de descarga de aguas residuales de un campamento habitacional. Esto se realizará por medio de un análisis de la caracterización del agua residual, para poder definir el diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales y establecer un plan de mantenimiento para poder permitir el uso funcionamiento correcto de esta.

Durante el proceso se realizarán diferentes fases; en la primera fase se describe el tema de investigación y se realiza una revisión documental del planteamiento del problema de investigación. La segunda fase se realiza el plan de muestreo y se realizan los monitoreos de datos para poder evaluar las condiciones actuales y caudal de diseño de la planta. La fase tres y cuatro describen el análisis e interpretación de los resultados, del análisis de las variables observadas y con esta matriz se contará con información para deducir si el proceso cumple con los parámetros de descarga establecidos por el reglamento y si no es así tomar acciones correctivas. Para finalizar se realizará un análisis técnico y financiero para determinar la factibilidad de la investigación.

## 2. ANTECEDENTES

En la actualidad existen varios trabajos de investigación de tratamiento de aguas residuales, los cuales ayudarán como soporte para la presente investigación. A continuación, se mencionan algunos que aportan información importante:

En el artículo titulado Siguí (2016) *¿Por qué continúa la contaminación de aguas en Guatemala?* explica que toda la acción que realiza el ser humano tiene un impacto en el medio ambiente, para tratar de reducir el impacto el Estado formula leyes y reglamentos que contribuyan a la protección ambiental.

A pesar de que existen leyes sobre descarga de aguas, la contaminación de los cuerpos de agua en el país es muy alto, ocasionando graves problemas sociales y ambientales. Un problema es que el reglamento vigente tiene algunas deficiencias. Si se leen los reglamentos equivalentes de otros países y se compara con el nuestro, este último es ineficaz. En el año 2005 se creó un reglamento que era exigente en los límites máximos permisibles de cada parámetro de calidad, dividía los cuerpos receptores, era más estricto para control de vertidos de lagos y lagunas que para ríos. Este reglamento fue derogado por la ley que está vigente actualmente, el cual tiene límites mayores. En resumen, en este artículo nos indica que la legislación existente no es clara, las metas e indicadores ambientales no están bien definidos y no son estrictos, esto es una de las causas de la contaminación de los cuerpos de agua en Guatemala. (Siguí, 2016)



En su trabajo de graduación Alvis (2015) titulado *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales del complejo urbanístico Barcelona de Indias* se realizó una descripción de los componentes de la planta de tratamiento para entender su funcionamiento, levantamiento de planos, se tomaron muestras del efluente y del efluente de la planta de tratamiento para evaluar y tomar en cuenta los parámetros establecidos por la normativa. A lo largo del trabajo se indica que un sistema convencional de lodos activados se desarrolla en tres etapas: aireación, sedimentación y recirculación de lodos, por lo cual representan un antecedente válido para el presente trabajo de investigación.

En su artículo Arnáiz, Isac y Lebrato (2000) titulado *Tratamiento biológico de aguas residuales* es que el tratamiento biológico de aguas residuales por lo general son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con costos menores tanto en su realización como en mantenimiento. los tratamientos biológicos de aguas residuales se basan en el empleo de microorganismos, fundamentalmente bacterias, para la depuración de estas. Los costes de inversión de los procesos biológicos son del orden de 5 a 20 veces menores que los químicos. A su vez, los costes de tratamiento son de 3 a 10 veces menores

De acuerdo con Gómez (2014) su trabajo de graduación titulado *Propuesta integral de pequeña irrigación en zonas de ladera mediante el reúso de agua residual doméstica tratada con métodos naturales, para el municipio de San Marcos Guatemala* las aguas residuales son aquellas que han recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada; se clasifican en aguas residuales de tipo especial y de tipo ordinario. Los de tipo especial son las generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias. Por su parte, las aguas residuales de tipo ordinario son aquellas aguas producto de las actividades domésticas (servicios sanitarios,

lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otros similares), precedentes de zonas residenciales o instalaciones comerciales públicas. Por lo cual para nuestro estudio estaremos trabajando con aguas residuales denominadas domésticas.

En su libro Lopez, Buitrón, García y Cervantes (2018) *Tratamiento biológico de aguas residuales. Principios, modelación y diseño* presenta una explicación sobre la historia del problema de las aguas residuales, principios para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales que busca compilar e integrar el material de diversos cursos de postgrado en más de una docena de grupos de investigación de todo el mundo que han hecho contribuciones significativas en el desarrollo de tratamiento de aguas residuales.

Según lo publicado por Calderon (2014) en su trabajo de graduación titulado *Evaluación de la eficiencia de un biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias* indica que el sistema de tratamiento de aguas residuales en el área rural es utilizado muy poco, generalmente se instalan fosas sépticas utilizadas para el tratamiento y para la disposición final se usan pozos de absorción, vertido a zanjas o el río. Por lo cual este trabajo evalúa la eficiencia de un biodigestor comercial para su uso en residenciales con resultados positivos.

Todos estos trabajos descritos nos formulan soluciones viables para el tratamiento de aguas residuales, y en el presente trabajo de investigación se evaluará la solución más eficiente para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para un campamento habitacional de una empresa generadora de energía.



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

#### **3.1. Descripción del problema**

Existen ciertos parámetros de cumplimiento legal para las descargas de aguas residuales, los cuales deben cumplirse obligatoriamente, es necesaria la adecuación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el campamento habitacional de una empresa generadora de energía para evitar incumplimientos legales.

La planta de tratamiento de aguas residuales del complejo habitacional de la empresa generadora de energía hidráulica ha sido superada por la capacidad inicial de diseño, por lo cual se debe de volver a realizar un análisis de la caracterización del agua para establecer las mejoras necesarias a realizarse para poder cumplir con su función de diseño.

Otro de los problemas de la planta de tratamiento actual es la falta de un programa de mantenimiento de esta, por lo cual se desarrollará un plan que pueda ser integrado al sistema de órdenes de trabajo de la planta generadora.

#### **3.2. Formulación del problema**

Para el desarrollo de esta investigación se realizaron las siguientes preguntas.

- **Pregunta central**

¿Cuál es la estrategia para mejorar la planta de tratamiento de aguas residuales para el cumplimiento legal en un complejo habitacional de una empresa de generación?

- **Preguntas auxiliares**

- ¿Puedo encontrar los parámetros fisicoquímicos que me permitan el cumplimiento de la ley?
- ¿Qué cumplimiento legal existe para las aguas residuales de un complejo habitacional de una empresa generadora?
- ¿Cuál es la relación entre las partes interesadas y el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales?

### **3.3. Delimitación del problema**

Dentro del campamento habitacional de una empresa de generación de energía eléctrica se generan aguas residuales domesticas que deben ser tratadas antes de su descarga a efluentes hídricas cercanas. Las aguas residuales domesticas pueden ser tratadas a través de métodos biológicos y químicos.

Actualmente algunos parámetros de descarga no cumplen con lo estipulado en el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos Acuerdo Gubernativo número 236-2006, esto debido a un aumento en la cantidad de personal que habita en el campamento, esto

conlleva a una mayor descarga de aguas residuales y a la contaminación ambiental de las aguas de las fuentes hídricas cercanas.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cuál será la estrategia para mejorar la planta de tratamiento de aguas residuales para el cumplimiento legal en un complejo habitacional de una empresa de generación?



## **4. JUSTIFICACIÓN**

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de gestión y tratamiento del agua de las áreas de disposición final de efluentes líquidos y sistemas avanzados de tratamientos del área ambiental de la Maestría en Energía y Ambiente. Con esta investigación se aportará a la mejora del efluente de descarga de la planta de tratamiento del complejo habitacional de una empresa de generación de energía, por medio del análisis de los parámetros actuales y mejoras a los procesos de la planta de tratamiento de las aguas residuales para el cumplimiento legal de los parámetros y así evitar la contaminación de corrientes hídricas cercanas.

Con este trabajo se obtendrá la caracterización del agua de descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales, realizando un estudio para determinar la cantidad de agua a tratar para optimizar el proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales, para poder compararla con los parámetros de cumplimiento legal y establecer las mejoras necesarias y poder cumplir con dichos parámetros. También se analizará un plan de mantenimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales acorde a las necesidades del proyecto.

Los resultados obtenidos serán de utilidad para los colaboradores de una empresa de generación de energía, comunidades aledañas a la empresa y a la empresa al poder cumplir con los parámetros de descarga de las aguas residuales, pues dará evidencia que el proceso de tratamiento de aguas residuales es necesario para evitar la contaminación de fuentes hídricas cercanas.



También beneficiará a todo entre tanto privado como público en el país que deba manejar sus descargas de aguas residuales domésticas, ya que actualmente las descargas de aguas residuales es un problema muy generalizado en el país por la falta de plantas de tratamiento para las aguas residuales, y en este trabajo se da una solución que puede ser replicado en complejos habitacionales con una dimensión similar al estudiado.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Determinar una estrategia para la mejora de planta de tratamientos para el cumplimiento legal en un complejo habitacional de una empresa de generación de energía hidráulica.

### **5.2. Específicos**

- Identificar los requisitos legales que se deben cumplir para las descargas de aguas residuales de un complejo habitacional de una empresa generadora de energía hidráulica.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos que me permitan el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las Descargas y reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.
- Analizar la caracterización del agua residual de un complejo habitacional de una empresa generadora de energía hidráulica para efficientizar el proceso tratamiento de aguas residuales.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

A partir del presente estudio se evaluará el funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales y se realizará una propuesta de mejora que consiste en caracterizar el agua, determinar los parámetros que hay que mejorar para poder cumplir con los parámetros obligatorios de descarga de aguas residuales de un complejo habitacional de un proyecto de generación de energía.

Las descargas de aguas residuales es un problema generalizado en el país, por lo cual es necesario implementar mejores prácticas para el tratamiento de aguas residuales antes de su descarga final y así evitar la contaminación de las fuentes hídricas cercanas.

El presente estudio pretende aplicar las tecnologías existentes para el tratamiento de aguas residuales por medios biológicos. Para la aplicación de una solución al problema de la descarga de aguas residuales que no cumplan con los parámetros indicados legalmente y así poder reducir el impacto negativo hacia la naturaleza.

Al determinar lo anterior, se estará mejorando la calidad de agua de descarga hacia fuentes hídricas cercanas, con lo cual podemos indicar que la empresa estará cumpliendo legalmente con la legislación vigente en el tema de descarga de aguas residuales.



## **7. MARCO TEÓRICO**

El objetivo de este capítulo es introducir al lector sobre el tema de las plantas de tratamiento de aguas residuales, por medio de una breve explicación de su funcionamiento.

### **7.1. Agua residual**

Según Díaz y Mejía (2013):

Es el agua que utiliza el ser humano para sus actividades domésticas que luego es desechada, puesto que ha modificado sus condiciones biológicas, químicas y físicas. Según su origen las aguas residuales pueden dividirse en: domesticas, agrícolas, industriales y pluviales (p. 1).

Para ello se define cada uno de los tipos de aguas residuales según su procedencia, y saber qué tipo de agua es la que genera el lugar de estudio.

#### **7.1.1. Agua residual agrícola**

“Agua residual producida después del riego de campos de cultivo y procesos agrícolas. Las características de este tipo de agua es una alta carga orgánica biodegradable” (Díaz y Mejía, 2013, p. 14).

### **7.1.2. Agua residual industrial**

“Es el agua generada en los procesos industriales, posee características específicas, dependiente de la industria que la genere” (Díaz y Mejía, 2013, p. 14).

### **7.1.3. Agua residual pluviales**

“Es el agua de lluvia descargada en grandes cantidades en suelo y techos” (Díaz y Mejía, 2013, p. 14).

### **7.1.4. Agua residual domestica**

Es el agua que el ser humano utiliza para fines higiénicos (baños, cocinas, lavandería, etc.). Consiste básicamente en residuos humanos y de productos de higiene, son producidas en: hogares, edificios, oficinas, centros comerciales y otros similares. Las aguas residuales son ricas en nutrientes y materia orgánica biodegradable. Se pueden clasificar en: aguas negras (contaminadas con heces) y aguas grises (no contaminadas con heces). (Díaz y Mejía, 2013, p. 16)

En el campamento habitacional de la empresa generadora de energía se cuenta descarga por lo tanto agua residual de tipo domestica ya que proviene de un conjunto de cuartos y un comedor.

## **7.2. Características y composición de las aguas residuales**

Existen varias investigaciones donde se encuentran diferentes características, pero en la mayoría se tienen tres características muy importantes las cuales son: físicas, químicas y biológicas.

### **7.2.1. Características físicas**

“El ser humano tiene la particularidad de detectar fácilmente algunas características físicas de las aguas residuales, puesto que por medio de sus sentidos puede hacerse una idea de la magnitud de las mismas” (García, 2014, p. 12). Se puede mencionar algunas como el olor, color, temperatura, turbiedad, entre otros, se describirán las más importantes a continuación:

- Sólidos totales

Según Quirós (2021) “Se refiere a las partículas presentes en el agua y que son más grandes que las moléculas. Su origen es variado y la mayoría no suelen ser distinguidos a simple vista por el ojo humano” (p. 25).

Otra definición según García (2014):

El contenido de sólidos totales analíticamente se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105 °C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (como Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de mg/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la



decantación primario del agua residual. Los sólidos totales, o residuos de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión).

La Fracción filtrable de los sólidos corresponde a sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños entre 0.001 y 1 micrómetro. Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. Normalmente para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación complementadas con la sedimentación. (p. 8)

- Olores

“El olor más característico del agua residual séptica es debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos o sulfitos por acción de microorganismos anaerobios” (García, 2014, p. 8).

Esta característica en gran medida causa rechazo en los proyectos de tratamientos de aguas residuales debido al inconveniente del fuerte olor, pero esto se ha tomado en cuenta en el diseño de los sistemas de tratamiento para evitar inconvenientes a futuro.

- Temperatura

“La temperatura del agua es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles” (García, 2014, p. 8).

Para García (2014) esta característica es importante controlarlo debido a que el oxígeno es más soluble en el agua fría que en el agua caliente. Con temperaturas elevadas puede haber agotamiento de concentración de oxígeno disuelto y mortalidad en la vida acuática.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana es entre 25° y 35° C. Los procesos de digestión aerobia y la nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50° C. A temperaturas alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad. (García, 2014)

- Turbiedad

La turbiedad puede considerarse como un efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que transitan a través de una muestra de agua; esto hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de los sólidos en suspensión del agua. (Díaz y Mejía, 2013, p. 23)

- pH

Según García (2014):

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, el efluente puede modificar la concentración de ion hidrogeno en las aguas

naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.  
(p. 24)

### **7.2.2. Características químicas**

El agua residual, químicamente puede ser caracterizada desde muchos puntos de vista, ya sean los componentes químicos minerales que posee como los orgánicos, hasta los gases que se encuentran disueltos en ella. (García, 2014)

- Demanda química de oxígeno (DQO)

“Este parámetro mide la materia orgánica contenida en el agua; con ello se puede determinar la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos presentes en la materia orgánica y que puede ser oxidable por agentes químicos oxidantes fuertes” (Díaz y Mejía, 2013, p. 15).

Según García (2014): se puede establecer una relación entre la DBO y DQO que puede beneficiar debido a que determinar una implica solo 3 horas, contra los 5 días para la DBO, se podría correlacionar ambos parámetros para el control del funcionamiento de una planta de tratamiento.

- Demanda biológica de oxígeno (DBO)

“Este parámetro mide la cantidad de oxígeno utilizada por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias” (Díaz y Mejía, 2013, p. 15).

Es importante resaltar que la DBO debe ser menor o igual a la DQO, este valor nunca debe superarlo.

Con los resultados de la DBO se puede determinar la cantidad de oxígeno aproximada que se requerirá para poder estabilizar biológicamente la materia orgánica, también se podría dimensionar las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales; y también se podría lograr medir como está la eficacia del proceso del tratamiento. (García, 2014)

- Nitrógeno

Para que protistas y plantas crezcan en las aguas residuales el fósforo y el nitrógeno son esenciales, es por esta razón que se les llaman bio estimuladores o nutrientes, estos dos elementos son bastantes nutritivos y necesarios en procesos biológicos. (Díaz y Mejía, 2013, p. 42)

Se puede establecer una relación entre la DBO y DQO que puede beneficiar debido a que determinar una implica solo 3 horas, contra los 5 días para la DBO, se podría correlacionar ambos parámetros para el control del funcionamiento de una planta de tratamiento. (García, 2014)

- Metales pesados

Existen varios metales pesados, de los cuales podemos nombrar al: hierro (Fe) plomo (Pb), cobre (Cu) manganeso (Mn), mercurio (Hg), níquel (Ni), zinc (Zn), cobalto (Co) cadmio (Cd). Algunos de estos son necesarios para que exista vida biológica en las aguas residuales.

“Debido a su toxicidad estos metales es importante monitorearlos para tener control de las concentraciones adecuadas” (Díaz y Mejía, 2013, p. 42).

Se puede establecer una relación entre la DBO y DQO que puede beneficiar debido a que determinar una implica solo 3 horas, contra los 5 días para la DBO, se podría correlacionar ambos parámetros para el control del funcionamiento de una planta de tratamiento. (García, 2014)

### **7.2.3. Características biológicas**

Según (García, 2014):

El agua contiene microorganismos de diferente naturaleza, como bacterias y hongos. La concentración de bacterias coliformes, *Escherichia coli*. que es la más conocida y es una contaminación proveniente de excretas humanas y de animales.

En los trabajos estudiados se generaliza como el termino coliforme, a el índice de calidad bacteriológica, debido a que se encuentran en la flora intestinal de muchos mamíferos. (p. 48)

### **7.2.4. Composición de las aguas residuales domésticas**

Como pudimos definir anteriormente las aguas residuales tenían características físicas, químicas y biológicas, por lo cual, según Peralta y Pérez, (2015) “Las aguas residuales se determinan por su composición física, química y biológica, pero existen parámetros preestablecidos para fijar los principales componentes que ayuda a la caracterización de las aguas” (p. 14).

Para Peralta (2015) “La composición de las aguas residuales domésticas es semejante entre poblaciones, pudiendo variar de acuerdo con el tamaño de la población, consumo de agua, cultura, clima y otros factores” (p. 11).

Como referencia en la investigación de Peralta y Pérez (2015) recopiló información de varios trabajos para conocer la composición promedio de un agua residual doméstica en la ciudad de Guatemala la cual se detalla a continuación:

Tabla I. **Composición promedio de un agua residual doméstica**

Parámetro	Unidad	Concentración		
		Mínimo	Media	Máximo
DBO <sub>5</sub>	mg/l	89	248	600
DQO	mg/l	123	412	859
Color Aparente	UC	21	400	1900
pH	U Ph	6,7	7,5	9.1
Nitrógeno total	mg/l	12	40	63
Fósforo total	mg/l	3	12	30
Sólidos Suspendidos	mg/l	28,00	253	986

Fuente: Peralta y Pérez. (2015). *Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas.*

### 7.3. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se refiere a cualquier proceso físico, químico, biológico o en combinación, para mejorar las características de las aguas residuales. (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006)

El objetivo básico del tratamiento de aguas residuales es proteger la salud, promover el bienestar de las personas, proteger el ambiente. (Suarez, 2011)

Según Jiménez (2011), un tratamiento del agua residual biológico busca la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no sedimentales y la estabilización de la materia orgánica.

## **7.4. Funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales etapas del proceso**

Las plantas de tratamiento de aguas residuales cuentan con varios procesos o fases los cuales se describen a continuación.

### **7.4.1. Pretratamiento**

Se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. (Metcalf & Eddy, Inc. 1996)

El pretratamiento consta de varias etapas, las aguas residuales que son conducidas por la red de alcantarillado llegan a la estación depuradora y comienzan las siguientes etapas. (Ysa, 2010)

#### **7.4.1.1. Desbaste**

Esta etapa se realiza reteniendo los sólidos más gruesos, como plásticos, papeles, residuos de alimentos, etc., comúnmente se usan rejillas. (Ysa, 2010)

#### **7.4.1.2. Desarenado**

En dicha etapa comúnmente se tiene un compartimiento especial, donde las arenas se depositan en el fondo por la acción de la gravedad (Ysa, 2010).

### **7.4.1.3. Desengrase**

En este procedimiento, se concentra en la superficie del agua las partículas en suspensión de baja densidad, regularmente las grasas y aceites (Ysa, 2010).

## **7.5. Tratamiento primario**

Acá se quiere tener el menor contenido de sólidos en suspensión del agua residual, se pueden distinguir operaciones como la decantación, la coagulación y floculación y la neutralización (Ysa, 2010).

Según indica Metcalf y Eddy, Inc. (1996):

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. (p. 33)

## **7.6. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario de las aguas residuales esta principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menuda se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario (Metcalf y Eddy, Inc., 1996).

Los procesos más comunes son los lodos activados, lagunas y filtros percoladores (Ysa, 2010).



## **7.7. Tratamiento terciario**

Las sustancias o compuestos normalmente removidos en este paso son los fosfatos y nitratos, bacterias y virus, sólidos totales y disueltos; se supone completar la remoción de contaminantes orgánicos del agua residual proveniente de los tratamientos primarios y secundarios mediante procesos físicos, químicos y biológicos. (Gómez, 2014)

En este tratamiento las eficiencias en sólidos suspendidos, DBO y coliformes fecales son muy altas, normalmente sobre el 99 % y en nutrientes arriba de 90 %. Dentro de algunos procesos terciarios podemos mencionar la filtración, aplicación en el suelo, carbón activado, osmosis inversa. (Gómez, 2014)

## **7.8. Cumplimiento legal**

- Legislación en Guatemala sobre aguas residuales

La Constitución de la República de Guatemala, en su artículo 97 indica: “el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que evite la contaminación del ambiente mantenga el equilibrio ecológico.” Para ello este artículo señala que se dictaran las normas necesarias para garantizar que el aprovechamiento de la fauna, flora, tierra y agua se realice racionalmente evitando su depredación. (García, 2017)

En el año de 1986 el Congreso de la República de Guatemala, emite el Decreto 68-86 Ley de Protección del Medio Ambiente, este surgió ante la ausencia de una ley ambiental. Fue elaborado de forma que su principal fin era

el de la protección de los sistemas atmosféricos, hídricos, líticos, edáficos, bióticos y demás recursos naturales del país. (García, 2014)

El Decreto No. 90-97, denominado Código de salud, que, entre otros temas, indica que quien genera las aguas residuales y las vierte a un cuerpo receptor, es responsable del tratamiento previo a la descarga. (Lemus y Lemus, 2015)

El Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, denominado *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. En este reglamento se establecen los parámetros de calidad que deben cumplirse para las descargas de las aguas residuales. (Lemus y Lemus, 2015)

Además, este reglamento antes mencionado establece los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. También establece los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico. (Barrera, 2011)



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

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO REFERENCIAL**

1.1. Estudios previos (recientes)

1.2. Antecedentes

### **2. MARCO TEÓRICO**

2.1. Aguas residuales

2.1.1. Agua residual agrícola

2.1.2. Agua residual industrial

2.1.3. Agua residual pluvial

2.1.4. Agua residual doméstica

2.2. Características y composición de las aguas residuales

2.2.1. Características físicas

2.2.1.1. Sólidos totales

2.2.1.2. Olores

2.2.1.3. Temperatura

2.2.1.4. Turbiedad

- 2.2.1.5. pH
    - 2.2.2. Características químicas
      - 2.2.2.1. Demanda química de oxígeno (DQO)
      - 2.2.2.2. Demanda biológica de oxígeno (DBO)
    - 2.2.3. Características biológicas
    - 2.2.4. Composición de las aguas residuales
  - 2.3. Tratamiento de agua residual
    - 2.3.1. Funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales etapas del proceso
    - 2.3.2. Pretratamiento
      - 2.3.2.1. Desbaste
      - 2.3.2.2. Desarenado
      - 2.3.2.3. Desengrase
    - 2.3.3. Tratamiento primario
    - 2.3.4. Tratamiento secundario
    - 2.3.5. Tratamiento terciario
  - 2.4. Cumplimiento legal
    - 2.4.1. Legislación en Guatemala sobre aguas residuales

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

- 3.1. Características del estudio
  - 3.1.1. Diseño
- 3.2. Fases del desarrollo de la investigación
  - 3.2.1. Fase 1 Investigación
  - 3.2.2. Fase 2 Recopilación de datos y caracterización
  - 3.2.3. Fase 3 Estudio técnico
  - 3.2.4. Fase 4 Mantenimiento de planta de tratamiento

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
  - 4.1. Escenarios analizados
  - 4.2. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales
  - 4.3. Costos
    - 4.3.1. Costos de operación
    - 4.3.2. Costos de mantenimiento
  - 4.4. Discusión de resultados
  
5. ANÁLISIS DE COSTOS / ANÁLISIS FINANCIERO (si aplica)
  - 5.1. Valor Actual Neto
  - 5.2. Tasa Interna de Retorno

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Tipos de estudio de investigación**

El diseño de investigación del presente trabajo es una investigación no experimental, el enfoque del estudio propuesto es cuantitativo las variables no serán manipuladas por el investigador y los datos serán recolectados por un laboratorio de análisis de agua para estudiarlos posteriormente.

El alcance de la investigación es descriptivo, siendo un estudio cuantitativo con variables continuas y discretas, se recopilarán valores de diferentes parámetros para poder realizar un análisis de los datos y poder comparar los resultados de todas las variables a estudiar con los límites permisibles que indica la ley.

- Caracterización del agua.
  - Pruebas de laboratorio.
  - Caudal de flujo de salida de planta de tratamiento
- Análisis económico.
  - Indicador: B/C (Relación beneficio/costo).

### **9.2. Fases de investigación**

Para la investigación se desarrollaron las siguientes fases de investigación.



### **9.2.1. Primera fase (Investigación bibliográfica)**

En esta primera fase de la investigación es necesario profundizar la investigación y para ello se desarrollarán todos los temas relacionados con la planta de tratamiento de aguas residuales, los cuales serán fundamentales para la fase de evaluación técnica, entre los temas que se desarrollarán serán los siguientes:

- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Tratamientos biológicos
- Legislación ambiental relacionada a plantas de tratamiento

### **9.2.2. Segunda fase (recopilación de datos y caracterización del agua)**

En la segunda fase de la investigación es necesario realizar una caracterización del agua, para definir el mejor diseño de tratamiento de agua residual, dependiendo estos datos de los estudios se planificará la opción más eficiente para el cumplimiento de los parámetros establecidos.

- Realización de muestreos y caracterización del agua
- Revisión documental de muestreos de descarga de agua residual

En esta fase, se recolectará información relacionada a las descargas que se tienen en el campamento y recolección de estudios de descargas de aguas previos.

### **9.2.3. Tercera fase (Estudio técnico)**

En esta fase de investigación se desarrollará la interpretación de resultados de las fases anteriores, se procederá a realizar los siguientes pasos:

- Discusión de resultados.
- Conclusiones del estudio.
- Recomendaciones del estudio.

Se recopilarán los datos con un laboratorio certificado externo.

### **9.2.4. Cuarta fase (Mantenimiento de planta de tratamiento)**

En esta fase de la investigación, se tomarán las acciones correctivas, se realizará un procedimiento de operación y plan de mantenimiento, que llevan a cabo un proceso de tratamiento eficiente, lo cual se evaluará realizando los siguientes pasos:

- Procedimientos de operación
- Inspección del proceso.
- Presupuesto de funcionamiento



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis de la evaluación se hará uso de estadística descriptiva, utilizando promedios para la determinación de los parámetros solicitados en el reglamento de aguas residual y que indicaran según los análisis de laboratorio las mejoras que deben desarrollarse en el diseño, se realizaran tablas comparativas de todos los análisis pasados que se agregaran a una base de datos.

Para ello se utilizará Microsoft Excel para la elaboración de tablas y gráficas para su posterior análisis.

Para poder contar con la información se solicitarán datos de análisis pasados realizados a la descarga de agua residual y datos de los nuevos estudios a realizar por un laboratorio certificado para asegurar la confiabilidad de los datos.

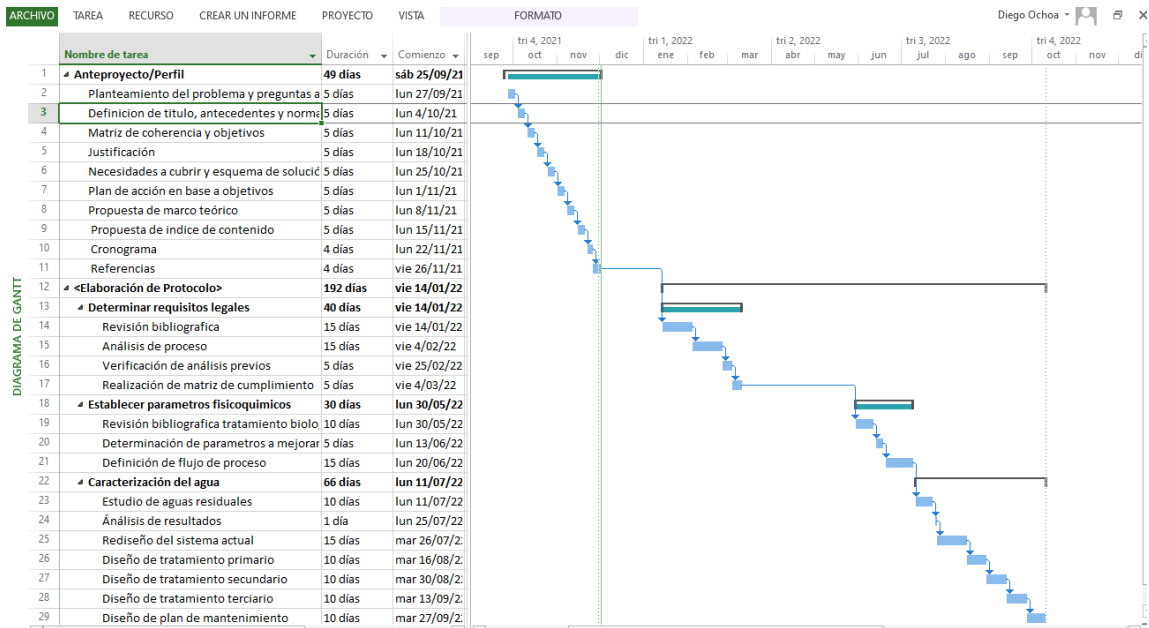
Para el análisis de la evaluación económica se hará uso de análisis de costo beneficio para poder comparar el beneficio de poder realizar el diseño propuesto para el cumplimiento de los parámetros de descarga de agua residual. Se utilizará indicadores financieros como lo son los siguientes:

- VAN (valor presente neto)
- B/C (relación beneficio costo)



# 11. CRONOGRAMA

Figura 1. Cronograma



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se describe en la siguiente tabla los recursos necesarios para realizar el diseño de investigación, incluyendo los recursos humanos, financieros, tecnológicos, acceso a información, permisos, equipo, infraestructura, entre otros.

Tabla II. Recursos necesarios para la investigación

Recurso	Costo	Unidad	Valor
<b>Humano</b>			
Asesor	Ad honorem	1	Q. 3,000.00
Estudiante	--	1	Q. 2,500.00
<b>Financiero</b>			
Impresiones	Q. 1.00	200	Q. 200.00
Estudio de caudal y análisis microbiológico	Q. 6,000.00	1	Q. 6,000.00
Estudios análisis de agua	Q. 1,200.00	2	Q. 2,400.00
<b>Tecnológico</b>			
Licencia Software AutoCAD para realización de planos de diseño	Q. 4,300.00	1	Q. 4,300.00
<b>TOTAL</b>			<b>Q. 18,400.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Siendo los recursos de los estudios a realizar y softwares proporcionados por la empresa, se consideran suficientes para la investigación, se considera que es factible la realización del estudio.





### 13. REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de las aguas residuales y de la disposición de los lodos. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Guatemala 5 de mayo de 2006.
2. Alvis, C. (2015). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales del complejo urbanístico Barcelona de Indias*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Gravito.
3. Arnáiz, C., Isac, L. y Lebrato, J. (marzo, 2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. *Revista Tecnología del Agua*, 20-26.
4. Barrera, R. (2011). *Estudio de prefactibilidad para el diseño, planificación y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales en la colonia el maestro, municipio de Chiquimula* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
5. Calderon, P. (2014). *Evaluación de la eficiencia de biodigestor comercial en el tratamiento de aguas residuales domiciliarias* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
6. Díaz, N., y Mejía, J. (2013). *Caracterización, evaluación y propuestas, para el mejoramiento de las tres plantas de tratamiento de agua residual doméstica por lodos activados en la mina Marin, ubicada*

*en el departamento de San Marcos (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.*

7. *García, L. (2017). Evaluación del tratamiento terciario actual de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar para determinar la remoción de la carga microbologica contaminante en la descarga hacia el río Contreras (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.*
8. *García, R. (2014). Caracterización y propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la industria galvanizado de lámina por inmersión en caliente (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.*
9. *Gómez, C. (2014). Propuesta integral de pequeña irrigación en zonas de ladera mediante el reúso de agua residual doméstica tratada con métodos naturales, para el municipio de San Marcos Guatemala (Tesis de maestría). Universidad del Valle, Guatemala.*
10. *Jiménez, A. (2011). Evaluación de alternativas para el aumento de la capacidad del sistema de tratamiento de aguas residuales del hotel Villas Playa Sámara (Tesis de licenciatura). Universidad de León, Costa Rica.*
11. *Lemus, C. y Lemus, E. (2015). Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del campus central de la Universidad Rafael Landívar para el reúso en riego del agua tratada*

*como tratamiento terciario para la remoción de nutrientes* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

12. Lopez, C., Buitrón, G., García, H. y Cervantes, F. (2018). *Tratamiento de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. Estados Unidos: BookMasters, Inc.
13. Metcalf y Eddy, Inc. (1996). *Ingeniería de aguas residuales*. México: McGraw-Hill.
14. Peralta, I. (junio, 2015). Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas en Guatemala. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 11(1), 50-59.
15. Peralta, I. y Pérez, W. (2015). *Uso del suelo como tratamiento secundario de aguas residuales domésticas* (Tesis de maestría). Univesidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
16. Quirós, A. (2021). *El uso del sistema de filtración en bosques de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales en comunidades rurales*.
17. Siguí, N. (noviembre, 2016). ¿Por qué continúa la contaminación de aguas en Guatemala? *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(2), 167-175.
18. Suarez, C. (2011). *Tratamiento de aguas residuales municipales en el valle del Cauca* (Tesis de maestría). Universidad del Valle, Colombia.

19. Ysa, V. (2010). *Guía para la toma de decisiones en la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencionales*. Perú: AVINA