



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL USO DE AGUAS
DOMÉSTICAS, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA NO POTABLE EN LA
COLONIA VILLA LOBOS II, CIUDAD DE GUATEMALA**

Ramón Arnoldo Jácome Cucú

Asesorado por la M.A. Inga QcA. Adela María Marroquín González

Guatemala, noviembre 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL USO DE AGUAS
DOMÉSTICAS, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA NO POTABLE EN LA
COLONIA VILLA LOBOS II, CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RAMÓN ARNOLDO JÁCOME CUCÚ

ASESORADO POR LA M.A. INGA. ADELA MARÍA MARROQUÍN GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

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 Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín González
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejía
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
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 LA EVALUACIÓN DEL USO DE AGUAS DOMÉSTICAS, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA NO POTABLE EN LA COLONIA VILLA LOBOS II, CIUDAD DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 20 de noviembre de 2021.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ramón Jácome', enclosed within a circular scribble.

Ramón Arnoldo Jácome Cucú



EEPFI-PP-00001-2021

Guatemala, 26 de noviembre de 2021

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

Estimado Ing. Álvarez

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DEL USO DE AGUAS DOMESTICAS, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA NO POTABLE EN LA COLONIA VILLA LOBOS II, CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión y tratamiento del agua - Sistemas avanzados de tratamiento de agua**, presentado por el estudiante **Ramón Arnoldo Jácome Cucú** carné número **201520554**, 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"

Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col. No. 1446

Adela María Marroquín González De García
Asesor(a)

Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador(a) de Maestría



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





Ref. EEP.EIQ.00001.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Química 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 EVALUACIÓN DEL USO DE AGUAS DOMESTICAS, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA NO POTABLE EN LA COLONIA VILLA LOBOS II, CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Ramón Arnoldo Jácome Cucú**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Williams G. Alvarez Mejia M.I.Q., M.U.I.E.
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, noviembre 2021



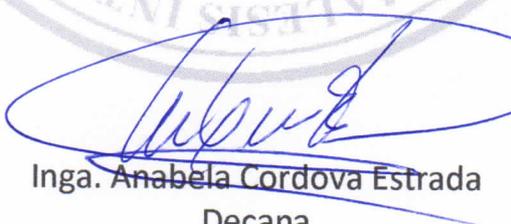
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189102 - 24189103
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.721.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL USO DE AGUAS DOMÉSTICAS, PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA NO POTABLE EN LA COLONIA VILLA LOBOS II, CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Ramón Arnoldo Jácome Cucú**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

ACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por brindarme el conocimiento necesario y ser mi guía en todo momento.
Virgen María	Por darme la fortaleza de seguir siempre hacia adelante.
Mis padres	Ramón Arnoldo Jácome Pinto y Marta Lidia Cucú Gómez, por su apoyo, consejos y amor incondicional en todo momento de mi vida, a ellos mi eterno agradecimiento por todos los sacrificios y por permitirme hacer realidad este sueño.
Mis hermanos	Erick José y Luis Alberto Chávez, por su apoyo, cariño y compañía durante mi vida.
Mis hermanas	Lidia Valentina Jácome y Dora María Chávez, por su cuidado, apoyo y cariño durante mi vida.
Mis abuelos	Luis Jácome (q.e.p.d), Rosalina Pinto (q.e.p.d) y, especialmente, a María Feliciano Gómez, por sus consejos y cariño.
Mi novia	Yasmin Ester Monzón, por estar allí siempre con ánimo, apoyo y amor incondicional.

Mis padrinos

Fulvio Valdez y Floridalma de Valdez por su apoyo y cariño.

Mis tíos

José Luis (q.e.p.d), Héctor (q.e.p.d), Ruth Jácome, Pablo Alfaro y Vilma Albizuris, por su cariño y apoyo.

Mi familia

Con especial cariño a José Guillermo, Ian Porras José Chávez, Rodrigo Porras, Freddy Jácome, Margarita Rodríguez y Pedro Hernández

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el <i>alma mater</i> que permitió nutrirme de conocimiento.
Facultad de Ingeniería	Por fomentar el conocimiento y las aptitudes necesarias para poder desarrollarme como profesional en el campo de la ingeniería.
Mis amigos de la Facultad	Por todos los buenos momentos compartidos a lo largo de la carrera.
Asesora de tesis	M.A. Ingeniera Química Adela María Marroquín, por el apoyo y tiempo dedicado hacia mi persona para la realización del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
3.1. Descripción del problema	11
3.2. Formulación del problema	11
3.3. Delimitación del problema	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO.....	21
7.1. Agua	21
7.1.1. Demanda de agua	22

7.1.2.	Obtención de agua	22
7.1.3.	Cualidades del agua.....	23
7.1.4.	Acciones para el cuidado del agua.....	23
7.1.5.	Mal uso del agua	24
7.2.	Aguas residuales.....	24
7.2.1.	Clases de aguas residuales	25
7.2.2.	Composición.....	26
7.2.3.	Factores que afectan las aguas residuales domésticas	26
7.3.	Contaminantes	27
7.3.1.	Distribución de contaminantes	27
7.3.2.	Orgánicos e inorgánicos.....	28
7.3.3.	Función del oxígeno	29
7.4.	Población en Villa lobos II	30
7.4.1.	Necesidades de agua por persona en área rural	31
7.4.2.	Personas por familia.....	31
7.5.	Tratamiento de aguas residuales	32
7.5.1.	División por tipo de proceso	32
7.5.2.	Tratamiento primario	32
7.5.3.	Tratamiento secundario.....	34
7.5.4.	Biodiscos	35
7.6.	Tipo de proceso	36
7.6.1.	Proceso aerobio	36
7.6.2.	Beneficios del proceso aerobio	36
7.7.	Factibilidad	37
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	39
9.	METODOLOGÍA	41

9.1.	Características del estudio	41
9.2.	Unidades de análisis	42
9.3.	Variables.....	42
9.4.	Fases del estudio	43
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS	45
11.	CRONOGRAMA.....	47
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	49
13.	REFERENCIAS.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Desglose de variables	42
II.	Diagrama de Gantt para el segundo trimestre.....	47
III.	Diagrama de Grantt para el tercer trimestre	48
IV.	Diagrama de Grantt para el sexto trimestre.....	48
V.	Recursos financieros	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
°C	Grados Celsius
H	Hora
L	Litro
L/h	Litro por hora
mg/L	Miligramos por litro
mL	Mililitros
NMP	Número más probable
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
Q	Quetzales

GLOSARIO

Acuífero	Cuerpo o manto de agua, cuyo origen se encuentra en el subsuelo.
Aerobio	Proceso biológico, en donde se necesita la interacción del oxígeno para llevar a cabo la reacción biológica.
Aguas domésticas	Aguas cuyo origen se debe a la interacción de esta en los hogares de los guatemaltecos.
Aguas residuales	Aguas cuyas propiedades fueron cambiadas, debido a la interacción del hombre, degradando la calidad de esta.
Aguas urbanas	Aguas cuyo origen se debe a la ciudad de Guatemala.
Antropogénica	Efecto de las acciones realizadas por el hombre hacia los cuerpos de agua.
Biopelícula	Capa exterior, cubierta por material de origen orgánico o biomasa.
Calidad	Grado en el que las características inherentes de un objeto cumplen con los requisitos

Caracterización	Determinación de los atributos de las aguas residuales en función de las condiciones que la rodean.
Caudal	Cantidad de volumen de agua o de determinado fluido en un tiempo determinado.
Composición	Elementos que constituyen las aguas residuales.
Contaminación	Adición de componentes ajenos al agua, tanto a nivel físico, químico o biológico, cuya interacción disminuye la calidad de las aguas.
Criterios de diseño	Reglas establecidas previamente por diferentes autores, obtenidas a partir de la experimentación o modelación matemática, para la correcta adecuación de los sistemas de acuerdo con las condiciones establecidas.
Degradación	Transformación de la materia orgánica, por efecto del medio ambiente a través del agotamiento de recursos.
Demanda	Cantidad necesaria de recursos o entidades moleculares como oxígeno, para saciar determinados fenómenos.
Desabastecimiento	Falta suministro de flujo de entrada de recursos necesarios para la población.

Diseño	Proceso de adecuación y configuración de un proceso determinado, para poder ser llevado a cabo a una solución de campo.
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua, encargada de la producción, saneamiento y despacho de suministro de agua en los hogares, establecimientos, empresas entre otros, en Guatemala.
Factibilidad	Adecuación de los recursos necesarios para la realización de determinados proyectos, tales como recursos humanos, financieros, tecnológicos, acceso a la información entre otros.
INE	Instituto Nacional de Estadística
Metodología	Conjunto de procedimientos ordenados, cuyo objetivo es determinar una serie de pasos factibles para la resolución de la problemática.
Residuo sólido	Materia que carece de valor para quien lo genera, en el caso de las aguas residuales domésticas, los cuales pueden ser desechos utilizados en el hogar.
Tratamiento de agua	Conjunto de operaciones físicas, químicas y biológicas, cuyo objetivo es la eliminación de componentes para uso humano.

Variación

Cambio de las propiedades del agua por efecto antropogénico.

RESUMEN

La finalidad de esta investigación es demostrar la aplicabilidad de este tipo de proyectos e instalaciones para el tratamiento de aguas residuales domésticas, como respuesta ante el desabastecimiento de agua en ciertas áreas ubicadas en la ciudad de Guatemala, generando para ello una base de datos bibliográficos, en los que se hará una recopilación de los criterios y diseño de metodologías aplicadas para el área de estudio.

A través de documentos como artículos científicos y libros, se procederá a definir los criterios de diseño de tratamiento de aguas residuales domésticas y la aplicabilidad de biopelículas dentro del sistema, que sea capaces de adecuarse a las necesidades de la población a evaluar, ajustando para ello el caudal teórico esperado en función del crecimiento de la población a futuro. Para demostrar la factibilidad del diseño propuesto, se llevará a cabo un análisis económico y una modelación en tres dimensiones del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Se determinará si la propuesta planteada de diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas es factible y capaz de responder a las necesidades actuales y futuras de la población habitante en la colonia Villa Lobos II.

Con ello se propone una alternativa viable para la reutilización de las aguas residuales domésticas. El diseño teórico se llevará a cabo bajo una muestra de 100 casas y una aproximación de 5 personas por cada familia guatemalteca en el área de interés.

1. INTRODUCCIÓN

El mundo ha experimentado una importante disminución de agua en los últimos años, es decir, no es posible brindar este tipo de servicio para cada persona en el mundo, este efecto se da en gran medida por la demanda de la población y por el incremento exponencial de la misma, es por ello que varios países han desarrollado diferentes técnicas para la obtención de agua por diferentes métodos, siendo uno de ellos, el saneamiento del agua utilizada.

Parte de este desabastecimiento se vive en la Colonia Villa Lobos II, ubicada en la ciudad de Guatemala, en la que a pesar de contar con un servicio de agua por medio de la empresa EMPAGUA, el caudal de agua que alimenta a los hogares resulta ser insuficiente durante ciertos días de la semana. Tomando esta problemática, se desea implementar el diseño teórico de un sistema de aguas residuales domésticas, cuyo objetivo a corto plazo es desarrollar e indicar las metodologías y procedimientos idóneos para el correcto diseño de este tipo de proyectos por medio de una correcta base de información, para que, a largo plazo se pueda lidiar con el desabastecimiento de agua en la colonia en mención por medio de una alternativa viable.

Para llevar a cabo la investigación, se debe apoyar en fuentes de datos bibliográficos encontrados en la web, tales como libros y artículos científicos, con el fin de determinar las condiciones en las que el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas sea capaz de satisfacer las necesidades actuales y futuras de la población, tomando para ello el crecimiento poblacional de la comunidad, luego de tener el diseño idóneo se buscará realizar un análisis de costos para evaluar los aspectos económicos que implicarían la inclusión de este tipo de

proyectos en una colonia ubicada en la ciudad de Guatemala y, por último, se planteará, de forma visual, una aproximación del sistema de tratamiento de aguas residuales en un diagrama de tres dimensiones, para lo cual se utilizará la herramienta Sketchup.

El proyecto buscará sentar las bases de investigación necesarias para que a largo plazo se pueda desarrollar dicha idea en la comunidad por medio de otro tipo de trabajos o bien como complemento de otras investigaciones, con el fin de beneficiar a la comunidad con agua no potable para usos domésticos, por lo que, el objetivo de esta investigación es demostrar la viabilidad de este tipo de proyectos en comunidades ubicadas en la ciudad de Guatemala, generando conciencia de la existencia de nuevas tecnologías para la limpieza del agua e innovando con la creación de una base de datos teóricos que demuestren la aplicabilidad de dichas tecnologías en el sector de interés. Es por ello por lo que el presente estudio se basará en las líneas de investigación de gestión y tratamiento del agua orientado a sistemas avanzados de tratamiento de agua.

En el capítulo uno se tratará de realizar una investigación teórica, en la que se abarcará la importancia del agua a nivel global y las acciones actuales en las que se emplea dicho recurso, luego se definirá la composición de las aguas posterior a su uso, después se analizará las características de los tratamientos primarios y secundarios para poder, finalmente, evaluar el adecuado proceso a desarrollarse y que sea capaz de adecuarse a las necesidades de la población.

Durante el capítulo dos se describirá el tipo de metodología por seguir durante la investigación, la cual ayudará al cumplimiento de los objetivos trazados del presente trabajo.

En el capítulo tres se dará cumplimiento a los objetivos por medio de los resultados obtenidos, en los que se podrán en práctica los criterios de diseño del tratamiento de aguas residuales domésticos.

Por último, en el capítulo cuatro se evaluarán los resultados obtenidos por medio de una interpretación de estos, estableciendo la conveniencia del proyecto en el área propuesta. Posteriormente, se realizarán las conclusiones a las que se llegaron durante la realización del presente trabajo y, finalmente, se darán las recomendaciones a considerar para futuros trabajos de investigación.

2. ANTECEDENTES

Según Raffo y Lizama (2014), indican en su estudio acerca de la *Caracterización de las Aguas Residuales y la Demanda Bioquímica de Oxígeno*, que el agua es un recurso natural que cumple con múltiples usos, ya que resulta ser de gran importancia para los habitantes del planeta tierra, después del oxígeno. En dicho estudio, se determinó que se ha incrementado la demanda de este recurso con el pasar de los años debido a las necesidades de la sociedad existente, este efecto se debe a que la población mundial se encuentra en un aumento continuo, llegando a concluir que se debe considerar que para el futuro la tasa poblacional mundial crecerá aún más y la demanda no cesará, aunque el agua sea utilizada para el beneficio de la sociedad en diversas actividades, estas pasarán a convertirse en aguas ya utilizadas, dando paso a la contaminación de la misma provocando la adquisición de diversas impurezas y contaminantes lo que ocasiona enfermedades y perjuicios al ser humano, convirtiéndolas en aguas residuales.

Raffo (2013), presentó una investigación previa sobre el *Tratado del Agua y la Legislación Peruana*, en donde se destaca que los seres humanos no son los únicos seres que necesitan de dicho recurso, también lo necesitan los animales y vegetales, por lo que resulta ser indispensable para el equilibrio del ecosistema mismo, sin embargo, el ser humano es el que hace mayor uso de este recurso, llegando a la conclusión que para mantener este equilibrio es necesario una regulación por parte del gobierno, lo cual permita un cese a la explotación desmedida, y buen uso de este recurso por parte de los consumidores.

Global Water Partnership (2000), expresa que la demanda de agua sumado a la constante descarga de aguas residuales da como resultado un consumo rápido del mismo recurso hídrico, por lo que el estudio tiende a plantear la postura global sobre este tipo de problemas, es por ello que se ha optado por la aplicación de nuevas tecnologías como lo son tratamiento de aguas residuales, tomando ejemplos como Brasil, quien depura cerca del 38 % de los efluentes, Venezuela depura el 28 % y Argentina el 10 %. Tomando los datos anteriores, se obtiene que cada vez más países se unen a la reutilización del agua para diferentes labores, con el objetivo de afrontar el desabastecimiento de agua y proponer nuevas formas para su recuperación, tomando en cuenta que no es necesario obtener de este tipo de procesos agua potable, ya que puede ser usada en otro tipo de actividades.

Los proyectos de diseños de este tipo de sistemas de saneamiento del agua del hogar, se han desarrollado tanto a nivel mundial como nacional, según Hernández y Ovando (2017) presentaron su trabajo de postgrado de Magíster en Ingeniería para el Desarrollo Municipal en la Universidad de San Carlos de Guatemala titulado *Diseño de un Tanque de Captación y Tratamiento de Agua en Casillas Santa Rosa*, en donde afirman que el diseño de tanques de captación y tratamiento de agua debe surgir a partir de profundizar las necesidades de la comunidad, es por ello que se establece la necesidad principal de un grupo de personas definidas por la obtención de una fuente alterna de agua. También se hace énfasis en que el suministro de agua a través de empresas puede faltar de un momento a otro por diversos factores, por lo que este tipo de proyectos puede ser una solución ante el desabastecimiento de agua de una comunidad. Se propone que, para poder abordar el problema, primero es necesario establecer bases de estudio y criterios idóneos para su funcionamiento, de esa forma se busca que en un futuro el proyecto pueda realizarse tomando en cuenta los estudios bases.

Peralta (2015), presentó su trabajo final como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Sanitaria, en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos titulado como *Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas en Guatemala*, en el cual se detalla que las aguas desechadas en Guatemala dependen de la composición y concentración, tomando como muestra la planta experimental Ing. Arturo Pazos Sosa, en donde a partir de investigaciones de esta escuela, se ha determinado que la concentración promedio de los parámetros evaluados son: temperatura 22.6 °C, pH 7.44, color 403.7, DBO 253.6 mg/L, DQO 422 mg/L, sólidos totales 640.8 mg/L, sólidos suspendidos 282.8 mg/L, coliformes totales 9.7 E+11 NMP/100 mL y coliformes fecales 6.8 E+11 NMP/100 mL. Concluyendo que la información presentada es crucial para determinar la composición típica de las aguas utilizadas a nivel doméstica en Guatemala y como esta puede influir en el diseño de este tipo de sistemas destinados para el saneamiento del agua.

La inclusión de este tipo de propuestas y estudios toma relevancia en Guatemala debido a la problemática del abastecimiento de agua general del país. Sin embargo, el éxito de estos sistemas no solo depende del beneficio de la comunidad como tal, ya que, en países como Guatemala, el éxito de este tipo de proyectos dependerá de factores como costos de construcción, sostenibilidad, factibilidad y costos operativos (Von, 1995).

Bernal , Cardona, Galvis y Peña (2015), indican en su estudio titulado *Guía de Selección de Tecnología para el Tratamiento de Aguas residuales Domésticas Por Métodos Naturales*, que para que se dé un buen planteamiento de proyecto como este, hablese de diseño, debe existir una buena base de información teórica, acerca del funcionamiento, diseño y equipos que apliquen para este tipo de nuevas tecnologías para la reutilización del agua a escala hogar, para poder ser realizadas a largo plazo, concluyendo que no se puede realizar un proyecto

que afecte a la comunidad sin antes realizar un análisis para determinar las características principales que debe contener el sistema para poder tener buena operación. Es por ello por lo que, para la elaboración de proyectos complejos como lo son este tipo de sistemas destinados para los hogares, es necesario realizar un estudio de diseño del mismo en la comunidad o sector al cual será destinado, evaluando tanto criterios de diseño como especificaciones técnicas.

Las metodologías del diseño que acaparan el saneamiento de agua para el hogar pueden variar, sin embargo, las metodologías cumplen con etapas o fases en específico. Macchiavello (2013) afirma y concluye en su trabajo titulado *Estudio de una planta de tratamiento de aguas residuales de Irlanda y su impacto en el medio ambiente*, que el diseño de un sistema, el cual es el encargado de devolver el agua del hogar a un estado aceptable, incluye un tratamiento preliminar, secundario y puede incluirse un tratamiento terciario destinado a los efluentes del sistema, lo cual estará en función de las necesidades de diseño existentes de la población de estudio. Estas etapas sirven como bases del estudio para determinar las características futuras del proyecto y su funcionamiento, así como sus componentes claves en su diseño.

Menéndez y Dueñas (2020), presentaron en su estudio *Criterios de diseño y escalado de biodiscos para el tratamiento de aguas residuales*, en donde se describe la aplicación de alternativas para estos casos, que son utilizadas para poder tratar el recurso hídrico, una de ellas es el sistema de discos rotatorios o biodiscos, la cual es un complemento del sistema de saneamiento en general, llegando a determinar que el efecto obtenido por medio del tratamiento de aguas residuales domésticas por biodiscos son comparables con cualquier otro tipo de sistemas convencionales empleados para este tipo de actividades. Sin embargo, para el criterio de diseño de estos biodiscos se debe analizar una visión general de las características que pueden ofrecer para el tratamiento de aguas

residuales, evaluando tanto ventajas como desventajas del mismos, según a la comunidad que vaya dirigida.

Es por ello por lo que, para poder resolver el problema de desabastecimiento de agua, es necesario probar y estudiar nuevas alternativas que resulten viables, siempre y cuando se tome el beneficio de la población en general como meta. Sin embargo, es necesario ajustar las nuevas tecnologías a la realidad de cada sector, para que pueda acoplarse a sus necesidades, tomando como base estudios teóricos que sean capaces de simular la realidad de la comunidad y de esa forma brindar un estudio capaz de ajustarse a la demanda de la población.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Descripción del problema

En la colonia Villa Lobos II, ubicada en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, se muestran problemas de abastecimiento de agua a ciertas horas de la mañana, siendo los días entre semana principalmente en donde se da dicho problema. A pesar de las quejas con la empresa encargada del despacho de este servicio, EMPAGUA, el desabastecimiento resulta ser constante. Para combatir esta problemática, los habitantes de la colonia tienen instalados en sus casas depósitos de agua, para poder ser llenados cuando la presión de agua tiene un caudal ideal para el auto abastecimiento, y así almacenar el agua cuando esta escasea; sin embargo, el agua almacenada muchas veces no resulta ser suficiente para afrontar la escasez durante la semana.

El agua, al ser el líquido de mayor uso en las viviendas, resulta ser indispensable, sin embargo, en la colonia en mención el caudal disminuye drásticamente o en ciertos casos no hay evidencia de caudal de agua, escaseando durante las mañanas en los días entre semana sin una hora en específica, por lo que resulta preciso determinar una forma en el cual durante las horas en las que la empresa en mención deja de abastecer a la colonia, esta pueda subsidiar su consumo de agua por medio de otra fuente.

3.2. Formulación del problema

- Pregunta principal:

- ¿Es posible diseñar los procesos y etapas que constituyen un sistema de tratamiento de aguas provenientes de los desechos de las casas de la colonia Villa Lobos II, que sea capaz de limpiar y volverla apta para uso doméstico?
- Preguntas auxiliares:
 - ¿Qué tipo de metodología de tratamiento de aguas residuales se puede utilizar para el tratamiento de aguas domesticas captadas en la colonia Villa Lobos II, que sea adecuado para la tasa poblacional futura de ese sector a 25 años?
 - ¿Cuál sería el análisis de costos, para este tipo de proyecto, según la metodología propuesta para el tratamiento de aguas domésticas?
 - ¿Cuáles serían las condiciones del sistema propuesto que permitan visualizar adecuadamente, en un plano en tres dimensiones, el sistema de tratamiento de aguas domésticas?

3.3. Delimitación del problema

Para poder llevar a cabo el presente estudio, es necesario tomar ciertas consideraciones, tales como que el estudio abarcará de forma teórica el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, tomando como consideración que se abordará una base de cálculo de 100 casas. Finalmente se tomará en cuenta que el agua a tratar será considerada agua de residuos domésticos, es decir, no se considerará que esta contenga alteraciones ajenas a las de una vivienda convencional, el resultado de este tipo de sistema será agua de tipo no potable.

4. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso natural importante en la vida de los seres humanos, esta se usa en una infinidad de actividades siendo, por ejemplo: utilizada para beber, para lavar o limpiar, para regar o inclusive como complemento en atracciones turísticas. Por lo que, el conocimiento hacía este tipo de recurso fomenta y evidencia el contexto del mundo actual, de cómo se vive y se espera vivir (Raffo y Lizama , 2014). Sin embargo, este recurso hídrico se encuentra sujeto a su disponibilidad, puesto que resulta ser un problema actual y complejo debido a los continuos problemas de abastecimiento natural existentes (Durán y Torres, 2006).

En el contexto ambiental global actual, es importante tener una gestión correcta del agua disponible, para ello es necesario primero enfocarse en qué tipo de agua se desea centrar, partiendo de la premisa anterior se obtiene que una de las aguas con mayor contacto con el ser humano son las aguas usadas en el hogar, según estudios indican que un manejo adecuado de las aguas residuales en el hogar representa un desarrollo local sostenible (Díaz Cuenca , Alavarado Granados , y Camacho Calzada , 2012). Es por ello por lo que el tratamiento de aguas residuales domésticas toma especial énfasis tanto en el ámbito ambiental como en el desarrollo humano. Por lo que, una de las formas en las que se puede alcanzar este tipo de desarrollo es mediante la exploración de tecnologías innovadoras, siendo una de estas un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Al proponer un diseño teórico de tratamiento de aguas residuales domésticas, se busca dar una solución alterna para la obtención de agua no

potable en el hogar, es decir, se busca dar a conocer la aplicación de nuevas tecnologías para la descontaminación de aguas por medio de una base teórica de datos de la cual se pueda partir para futuros estudios de campo y que sirva como estudios de referencia para evaluar la factibilidad de proyectos similares para el beneficio de los habitantes de la colonia de Villa Lobos II.

Al tener la disponibilidad de este recurso se podría enfrentar el continuo desabastecimiento de agua, especialmente en áreas del hogar que lo necesitan durante el día como lo son los excusados o lavamanos para fomentar la higiene y la salud dentro del mismo, incluso en tareas sencillas como lo son el riego de las plantas. Adicionalmente, se obtendría un impacto ambiental positivo debido a que, al menos en la colonia Villa Lobos II, no dependería directamente de cuerpos de agua disponibles para su consumo. Como efecto secundario, a largo plazo, se esperaría que se tenga una disminución de quejas hacia la empresa encargada del despacho de dicho servicio, beneficiando no solo a la población residente en la colonia en mención sino también a la empresa EMPAGUA.

El sistema tratamiento de aguas residuales debe adaptarse a las necesidades de la colonia Villa Lobos II, es por ello por lo que se tomará una muestra de cálculo de 100 casas para su dimensionamiento y posterior esquematización. Para ello se buscará emplear todos los conocimientos teóricos relacionados a la reutilización del agua brindados por parte de la Maestría de Energía y Ambiente, tomando como apoyo conceptos de Ingeniería Química para la determinación de equipos y procesos idóneos durante el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Proponer el diseño de un sistema de tratamientos de aguas residuales domésticas, capaz de limpiar el agua proveniente de los desechos de las casas de la colonia Villa Lobos II, para su posterior uso doméstico.

5.2. Específicos

- Diseñar el tipo idóneo de metodología de tratamiento de aguas domésticas, capaz de adecuarse a las necesidades de la colonia Villa Lobos II, de acuerdo con su proyección de tasa poblacional a 25 años.
- Determinar el análisis de costos, para este tipo de proyecto, según la metodología del sistema propuesto de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Elaborar las condiciones visuales aproximadas del sistema propuesto, por medio de un plano en tres dimensiones, capaz de brindar una perspectiva del sistema de tratamiento de aguas domésticas.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se pretende elaborar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para la colonia Villa Lobos II, el cual surge debido a la falta de la disponibilidad de cuerpos de agua a nivel nacional, teniendo un impacto ambiental importante para la población guatemalteca, ya que el nivel de consumo de este recurso llega a superar el nivel con el que se extrae agua, esta demanda exponencial del servicio hídrico se da en gran medida por el aumento de los habitantes, producto de esta demanda se obtiene como resultado que en muchos sectores del territorio de Guatemala obtienen un servicio poco constante, siendo uno de ellos la colonia en mención. Es por ello por lo que nace la necesidad de explorar técnicas ya existentes para la reutilización del agua para su desarrollo y adaptación en colonias ubicadas en la ciudad de Guatemala y de esa forma fomentar estudios a nivel centroamericano de la aplicabilidad de este tipo de tecnologías, generando para ello evidencias teóricas del acoplamiento de dicho sistema en la colonia de interés.

El desabastecimiento de agua ocurre durante ciertos días de la semana en la colonia mencionada anteriormente, este desabastecimiento de agua se ve reflejado en una disminución considerable del caudal o en ocasiones con un caudal inexistente, por lo que los pobladores de la comunidad se ven restringidos con actividades domésticas que necesitan de dicho recurso durante el día, es por ello que se desea buscar alternativas viables con las que se pueda ayudar a la comunidad para un abastecimiento adicional de agua que no afecte al medio ambiente, utilizando para ello la reutilización de aguas residuales domésticas.

La investigación se apoyará en diferentes criterios para la sanitización del agua no potable en el hogar, buscando determinar el correcto diseño del sistema, el cual debe ser viable para la población y de esa forma no depender por completo del servicio de la municipalidad local. Para ello, se tomará una base de cálculo de 100 casas, el diseño abarcará los cálculos necesarios para un correcto diseño, en función del caudal esperado y el crecimiento poblacional a 25 años.

Se realizará una investigación bibliográfica de la aplicación de biodiscos y sus beneficios en los sistemas de tratamiento de agua, así como los componentes necesarios en los tratamientos primarios y secundarios, en la cual se espera determinar la mejor alternativa que sea capaz de adecuarse a las necesidades tanto presentes como futuras de la comunidad, dichos procesos se deberán ajustar de acuerdo a los caudales provenientes de las casas, en los que también se enlistará los químicos y equipos necesarios para cada proceso, tomando en cuenta el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Se hará un análisis de costos general del proyecto, en el que se espera determinar el tipo aproximado de inversión necesaria para este tipo de proyectos en función del tiempo de vida de este. Por último, se una esquematización del proyecto, con el cual se pretende dar una idea clara de cómo puede llegar a ver el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas a largo plazo, aplicado en la colonia en mención.

La investigación se ejecutará en un tiempo límite de tres trimestres, en el primero se pretende investigar todo lo relacionado a sistemas de tratamiento de agua, en el segundo trimestre se espera realizar los cálculos relacionados al dimensionamiento y determinar los procesos involucrados durante el tratamiento primario y secundario, al igual que se empezará a elaborar el análisis de costos,

luego, en el tercer trimestre se terminará de desarrollar el análisis de costos y se realizará el diagrama en tres dimensiones del sistema de tratamiento de aguas residuales, por último, se someterá a revisiones el presente trabajo.

Parte primordial de este estudio es generar conciencia de los procesos actuales existentes para la reutilización del agua y como estos pueden ser tan versátiles, tomando en cuenta lugares simples como los hogares de los guatemaltecos, al aplicar opciones que son consideradas soluciones innovadoras, con el beneficio de que ya han sido implementados en otros sectores tanto a nivel nacional como internacional, buscando para ello la aplicabilidad de este tipo de proyectos en una comunidad en específico.

Debido a que en la colonia Villa Lobos II, no se cuenta con evidencia científica de que haya intentado diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, el estudio partirá sentando las bases teóricas necesarias para que a largo plazo se pueda llevar a cabo a mayor escala, ya que, con la implementación de este tipo de proyectos, se pretende disminuir la dependencia en cierta medida de la explotación de los acuíferos, actuales y futuros, para la obtención de agua.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Agua

Según Raffo y Lizama (2014), el agua es considerada como un recurso de gran importancia para los seres humanos, esta se caracteriza por no solo ser de gran utilidad para el hombre, también ayuda al crecimiento de la vegetación y área verde e inclusive para cubrir las necesidades de los animales. En el caso del ser humano, quién es capaz de darle diferentes usos, en tiempos prehistóricos únicamente utilizaba el agua para saciar la sed o inclusive influir en el aseo, sin embargo, hoy en día ha cambiado el uso de esta, esta tiene grandes aplicaciones como, por ejemplo:

- **Industriales:** en el que se busca beneficiar el crecimiento de la industria, tal es el caso de las calderas en las que es usual utilizar fluidos como agua para generar movimiento y posteriormente energía o calor.
- **Hogar:** el fluido con mayor presencia en el hogar es el agua, esta se utiliza ya sea en el baño en descargas del inodoro, para duchas, para el riego de plantas, para lavar los platos entre otras aplicaciones.
- **Como atracción turística:** un ejemplo de esta división son los parques acuáticos, en el que se utiliza el agua como un distractor para fomentar la diversión.
- **Riego de cultivos:** el agua es capaz de brindar los nutrientes necesarios para que la mayoría de los cultivos puedan desarrollarse y posteriormente ser para beneficio del hombre.

Las aplicaciones anteriormente mencionadas, son algunas de las tantas que existen para el agua. Es por ello por lo que el agua resulta ser un recurso de gran importancia en la actual sociedad.

7.1.1. Demanda de agua

El agua representa el 71 % del total del área de la tierra, según Castiblanco y Díaz (2017) indica que el 1.72 % del total de agua corresponde a cuerpos de agua subterráneos denominados acuíferos, el porcentaje restante corresponde a agua de océanos, tomando el porcentaje anterior se debe invertir aproximadamente el 70 % en el área de agricultura, 20 % en el sector transporte o para aplicaciones químicas y el 10 % restante corresponde al consumo de hogares.

7.1.2. Obtención de agua

El ciclo del agua es una forma en la cual el agua se transforma, dando cumplimiento a la ley de la conservación de la masa, en la que se hace referencia que la masa contenida en el universo no puede ser creada o destruida, por lo que postula que esta puede transformarse en formas ya sea de mayor o menor tamaño.

Básicamente el ciclo del agua, de forma resumida, parte del agua contenida en estado líquido en cualquier superficie, dicha agua se ve afectada por una variación en la temperatura provocando que se evapore para luego ser elevada en estado gaseoso y, producto de dicho efecto, se disminuye tanto su temperatura como presión; esta interacción produce una condensación y posteriormente una precipitación, durante la precipitación se forman las gotas de

agua que serán filtradas por medio de la tierra para su recolección en acuíferos, ríos o lagos entre otros (Morcillo, Reyero, Calvo , y Vidal, 2007).

7.1.3. Cualidades del agua

Con anterioridad se mencionó que el agua es un fluido que resulta ser muy versátil, ya que tiene un gran número de aplicaciones en el día a día, sin embargo, es importante resaltar sus propiedades y características que la hacen ser un fluido muy demandado. La Fundación del Agua (2021) afirma que el agua cumple con características únicas tales como: es un fluido inodoro, es decir, no cuenta con un olor característico, es incoloro por lo que no tiene un color, conduce la electricidad debido a su naturaleza en los enlaces polares, tiene un pH neutro, es decir, de 7 y producto de su nula viscosidad, el agua no puede comprimirse.

7.1.4. Acciones para el cuidado del agua

Como afirma la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2021), para obtener un desarrollo sostenible es necesario la creación de una agenda que enliste los temas de mayor relevancia, cuya necesidad sea crítica para su estudio en los años siguientes, es por ello que para el año 2015 nace la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Entre todos los temas que se abordan en la agenda en mención, se tiene un apartado en el que se discute sobre el agua, el cual en su punto 6 se discute sobre el agua limpia y su saneamiento, debido a que se observa la necesidad de no solo depender de las fuentes actuales de agua, ya que una de las metas trasadas es lograr un acceso universal a este recurso y actualmente no se esta cumpliendo.

Una de las formas en las que se puede dar cumplimiento a este punto es por medio de la aplicación de nuevas tecnologías para el saneamiento del agua

disponible para su posterior reutilización, sin embargo, no solo es importante este tipo de tecnologías también se debe de cuidar el recurso existente por medio del aumento de la eficiencia de la misma, es decir, tratar de reusar el agua en actividades secundarias sin necesidad de que existan procesos alternos.

7.1.5. Mal uso del agua

Como se mencionó con anterioridad, se busca aprovechar en su totalidad el agua, ya que, al ser un recurso finito, puede llegar a escasear de un momento a otro. Según Cardona y Ochoa (2013) indica que el ser humano puede dimensionar de mejor forma el cuidado de esta al relacionar su consumo en el hogar, por ejemplo:

- Excusados: 20 L/por descarga
- Bañado de cuerpo: 80 L
- Riego de plantas: 500 L/h
- Riego de auto: 500 L

De esa forma, se puede visualizar el consumo en el hogar de algunas de las muchas actividades que se pueden realizar en el hogar y cuantificar el consumo de agua por cada acción, el uso desmedido de agua provoca una mayor demanda en el hogar y puede afectar la disponibilidad del mismo recurso.

7.2. Aguas residuales

Se les llama así a las aguas en contacto directo con los seres humanos, es decir, son aguas que forman parte de las distintas actividades humanas, por lo tanto, en su estructura contienen diferentes contaminantes. En décadas pasadas las civilizaciones depuraban el agua, para ello realizaban

descargas que resultaban ser insignificantes, por lo que no representaba una problemática, es por ello que estas aguas residuales no mostraban alto contenido de contaminación al medio ambiente (Lozano , 2012, p. 27).

7.2.1. Clases de aguas residuales

Según Lozano (2012), las aguas residuales pueden dividirse de acuerdo a su tipo de origen o de acuerdo a quien las genera, de esa forma es posible determinar ciertos grupos de forma gneral:

- Urbana: las aguas residuales que provienen de este sector se caracterizan por ser deshechos de poblaciones de gran tamaño, esto debido a que ya cuentan con tecnología e infraestructura adecuada para contar con drenajes generales que capten las aguas residuales. En su mayoría, estas aguas residuales están compuestas por desechos orgánicos del hombre, agua utilizada en el lavado general de casas como platos o inodoros, entre otros y por último agua utilizada para regar las calles urbanas, es por ello por lo que su composición no presenta una variación.
- Industriales: en este caso, se diferencian por ser utilizadas en las industrias en grandes cantidades, es decir, se utiliza para cualquier actividad industrializada destinada para diferentes procesos de producción, inclusive de limpieza. El caudal manejado para esta sección se considera regulado y constante, lo que provoca que estas solo se generan en a ciertos tiempos del día. Por el tipo de actividades que se puede realizar en este tipo de clasificación, estas pueden llegar a estar más contaminadas, es por ello por lo que si se desea implementar un sistema de aguas residuales esta debe estar diseñar de acuerdo con el tipo de contaminantes que la componga. (p. 26)

7.2.2. Composición

En general, la composición de estas suele ser relativamente variable de acuerdo con su origen, ya que dependiendo de este puede afectar ciertos factores como lo son, por ejemplo: la cantidad de agua utilizada en un periodo de tiempo establecido o las comidas ingeridas por las familias. Según Rojas (2002), este tipo de aguas se caracterizan por ser en su mayoría agua, llegando a afirmar que se trata de aproximadamente el 99 % de esta, el porcentaje restante corresponde a los diferentes sólidos que pudieran estar en ese sector, usualmente puede llegar a contener en un rango entre el 40 % y 50 % de proteínas, las cuales en su mayoría se encuentran disueltas en el porcentaje de agua ya mencionado anteriormente, el resto se puede encontrar en forma sedimentada.

7.2.3. Factores que afectan las aguas residuales domésticas

Las aguas desechadas en el hogar parten del uso de actividades humanas en el hogar o en zonas residenciales, es por ello por lo que adquieren su contaminación, siendo así aguas que posterior a las actividades adquieren contaminantes o impurezas que provocan que se conviertan en aguas no aptas para reusar, a menos que se aplique cierto sistema o proceso que afecte en su estructura química.

Según Lozano (2012), afirma que las aguas domésticas cumplen diferentes funciones en las casas, por eso se debe obtener el flujo de agua de este sector, determinando para ello el consumo de agua por persona habitante en el hogar, también se debe considerar que mínimo el 70 % de estas aguas regresará al alcantarillado municipal.

7.3. Contaminantes

Las aguas residuales de origen doméstico se caracterizan por tener cierto nivel de contaminación, ya que, al evaluar el origen de estas, en su mayoría se utiliza en el baño ya sea en excusados o en la regadera, también se puede mencionar el agua utilizada para lavar platos o lavar el carro entre otras funciones, cada una de estas actividades transportan en el agua las diferentes bacterias y contaminantes, estas se acumulan y se terminan concentrando en diferentes áreas.

7.3.1. Distribución de contaminantes

Es importante determinar el por qué se menciona que las aguas residuales son tratados como agentes contaminantes, estas contienen diferentes organismos microscópicos que pueden alterar al cuerpo humano, llegando a provocar enfermedades. Estos microorganismos son conocidos por su alta contaminación tanto en el cuerpo humano como a nivel del medio ambiente. El nivel de contaminación de estas no se debe juzgar únicamente por la interacción con la lluvia, ya que, si bien es cierto que la lluvia contiene ciertos contaminantes adicionales provenientes del ciclo del agua, las aguas residuales ya cuentan con contaminantes provenientes del hombre tales como la materia fecal entre otros que son de gran importancia a nivel microbiano. Según Raffo y Lizama (2014), las aguas residuales pueden contaminarse sin la interacción del ser humano, ya que existen múltiples contaminantes que puede afectar el agua durante su ciclo.

Según Rojas (2002), afirma que las aguas residuales contienen varios contaminantes dentro de su estructura, sin embargo, se menciona que existen ciertos contaminantes con alta probabilidad de estar contenidas dentro de ellas:

- Materia proveniente del hombre, es decir, desechos del cuerpo humano biodegradables.
- Ciertos elementos nitrogenados, provenientes de los mismos desechos humanos o inclusive minerales.
- Elementos fosforados cuyo origen se debe a minerales.
- Organismos microscópicos y patógenos como: saprofitos y bacterias.

7.3.2. Orgánicos e inorgánicos

En general, las aguas residuales tienen distintas variables como lo son su composición y concentración, sin embargo, estas variables pueden depender del tipo de país. Guatemala no es la excepción a este tipo de afirmación, por lo que al realizar un análisis microbiológico se puede determinar con mayor precisión la composición de las aguas residuales guatemaltecas como factor de parámetro:

- **Orgánicos:** se les da este nombre debido a que químicamente contienen una estructura basada en carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. Este tipo de contaminante se caracteriza por ser el que se encuentra en mayores cantidades debido a su naturaleza. Entre los contaminantes orgánicos que se pueden encontrar están: las proteínas, carbohidratos, fenoles u órganos fosforados, siendo las proteínas y carbohidratos quienes se caracterizan por provenir de las heces fecales o cualquier tipo de deshecho de alimentos, por lo mismo resultan ser biodegradables.
- **Inorgánicos:** esta clasificación se caracteriza por tener una fuente mineral, entre estos se pueden encontrar las sales, ácidos o bases inorgánicos entre otros, este tipo de contaminantes se suele encontrar en mayores cantidades en aguas residuales de origen industrial debido a su composición, por lo tanto, dependen del material del que estén fabricados y el tipo de contaminación que puede provocar.

Según Peralta (2015), establece la composición promedio de las aguas residuales guatemaltecas, basado en la planta denominada “Ing. Arturo Pazos”, en la cual se obtuvieron diversas muestras para ser analizadas por parte de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), llegando a establecer los siguientes datos: pH de 7.44, temperatura 22.6 °C, demanda bioquímica de oxígeno 422 miligramos por cada litro tarado, 640.8 miligramos de sólidos totales por cada litro, 282.8 miligramos de sólidos suspendidos por cada litro, 40.5 miligramos de nitrógeno por cada litro, 11.6 miligramos de fósforo por cada litro y, por último, se estimó que la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno tiene una relación de 0.57 veces.

7.3.3. Función del oxígeno

La oxigenación de este tipo de aguas se da de forma natural, afectando tanto a residuos orgánicos como inorgánicos que puedan estar siendo transportados por estas aguas, sufriendo de esa forma una reacción de oxidación, dicha reacción puede llevarse a cabo a nivel biológico o químico dependiendo el caso. Según Raffo y Lizama (2014), indican que existe una tendencia decreciente de oxígeno para los residuos orgánicos, ya que al ser de origen orgánico tienen la característica de poder ser degradados de forma biológica, sin embargo, los contaminantes inorgánicos pueden tener comportamientos diferentes, llegando inclusive a convertirse en agentes venenosos.

Existen ciertos conceptos para describir la función del oxígeno en las aguas desechadas, sea cual sea su origen, según Raffo y Lizama (2014), hacen mención de las siguientes formas en las que se puede determinar y analizar el requerimiento de oxígeno:

- Demanda teórica de oxígeno: este se obtiene mediante las reacciones químicas, utilizando la técnica de estequiometría química, por medio de cálculos, se calcula la cantidad de oxigenación, es decir, la cantidad necesaria de oxígeno para que se logre dar la oxidación de la materia orgánica presente, terminando la reacción en dióxido de carbono más agua.
- Demanda Química de oxígeno: esta técnica se apoya en las equivalencias, a partir del contenido de contaminantes orgánicos, para luego realizar una equivalencia del oxígeno necesario; al llevar a cabo dicha oxidación se debe utilizar un químico que actuará como un agente oxidante.
- Demanda Bioquímica de oxígeno: al contener materia orgánica, es posible obtener un alto contenido, con el correcto desarrollo, de bacterias y microorganismos selectos. Esta técnica evalúa la necesidad de los diferentes componentes orgánicos de ser degradados con respecto a su entorno, es decir, el oxígeno necesario para oxidar la especie orgánica es la misma que se debe perder tanto la vegetación y animales marinos. Al realizar este balance, el entorno puede verse alterado, cambiando cualidades del agua y variaciones del pH, convirtiéndolo en base.
- Demanda total de oxígeno: se refiere a la suma de la necesidad de oxígeno, para poder tener una perspectiva general. Entre mayor sea la materia orgánica, mayor será la necesidad de oxigenación para su degradación.

7.4. Población en Villa lobos II

Para poder llevar a cabo un correcto diseño de un sistema capaz de poder sanear las aguas residuales domésticas, es necesario evaluar la densidad poblacional de la ubicación. Este tipo de criterio es importante debido a que se debe realizar un dimensionamiento de la estructura y determinar el caudal

esperado. El caudal encontrado no solo debe estar enfocado en el tiempo presente, ya que debe poder ser factible con el tiempo, ejecutando un análisis de un aproximado poblacional en un tiempo futuro.

7.4.1. Necesidades de agua por persona en área rural

Cada persona consume una cierta cantidad de agua en diferentes actividades, según Hernández y Ovando (2017) el diseño de este tipo de sistemas parte de los habitantes y el número de casas en el área, sin embargo, aspectos climáticos y ciertas características como económicas y culturales pueden influir en las necesidades de agua en los sectores.

Según recomendaciones del Instituto de Fomento Municipal de Guatemala (INFOM), los habitantes guatemaltecos tienen un rango adecuado de suministro de agua, este puede ir de 60 litros hasta los 150 litros de agua consumida por persona por día en el casquete rural. Este dato puede variar en áreas urbanas.

7.4.2. Personas por familia

Es importante determinar la cantidad, en promedio, de personas que conforman una familia en Guatemala, para poder determinar el gasto de agua aproximado de una familia en una vivienda. Según el Instituto Nacional de Estadística en Guatemala (2015), indica que una familia guatemalteca ubicada en la ciudad, esta integrada por aproximadamente 4.9 personas, para efectos de estudio se tomará como base de cálculo 5 personas por cada vivienda en la colonia Villa Lobos II.

7.5. Tratamiento de aguas residuales

Este tipo de tecnologías se definen como el proceso químico y físico en el que se busca limpiar el agua de diferentes contaminantes microbianos, buscando remover los contaminantes que transporta dicho fluido, con el objetivo único de una sanear el agua y utilizarlo en otro tipo de actividades humanas.

7.5.1. División por tipo de proceso

Los tratamientos de aguas residuales, en general, se pueden dividir en tres categorías principales para una mejor comprensión, tomando como referencia el proceso, estos son:

- Físico: este se caracteriza por ser un proceso en el que, por medio de mecanismos físicos, se busca la remoción de las partículas en suspensión, dentro de este tipo de procesos se pueden encontrar rejillas o mecanismos filtrantes entre otros.
- Químico: parte del uso de agentes químicos para poder acumular y remover posteriormente los agentes contaminantes, también puede buscarse la conversión estos.
- Biológicos: utilizan los microorganismos presentes en la materia, por medio de la degradación.

7.5.2. Tratamiento primario

“El objetivo principal de este proceso es retirar la materia sólida presente o partículas en suspensión, hasta donde sea posible” (Ramalho, 1990, p. 91). Se les llama así a todas aquellas partículas que pueden estar en el fluido de interés,

este tipo de partículas afectan al agua debido a que contienen contaminantes visibles al ojo humano.

Dentro de este tipo de partículas, es posible mencionar restos de papel higiénico, material fecal no sedimentado, restos de comida pequeños, entre otros. Al disminuir estos sólidos, el tratamiento en general se torna más eficiente, ya que se trata de quitar primero todo aquel material o partícula visible, para luego tratar todas aquellas bacterias y microorganismos que pudieron haber dejado dichas partículas, ya que el fin primordial es extraer la fuente que provoca la contaminación, para luego quitar los restos microbiológicos. Según Ramalho (1990), afirma que el tratamiento primario esta compuesto, generalmente o en su mayoría, por las siguientes partes:

- Cribado: este proceso se enfoca en la reducción de sólidos visibles, dichos sólidos pueden llegar a ser de diferentes tamaños, siendo desde sólidos finos hasta de mayor tamaño, por lo que usualmente se utiliza una malla para su correcta retención. En este tipo de proceso se espera poder asegurar la retención de un 5 % hasta un 25 % de sólidos, sin embargo, puede existir una división en las mallas utilizadas, si se desea retener sólidos pequeños la malla no debe ser mayor a 5 mm; sin embargo, si los sólidos son grandes se recomienda mallas cuya abertura sea de 4 a 8 cm, el material empleado debe ser adecuado para trabajar con agua, es por ello por lo que se busca que estén fabricadas de acero o similar.
- Sedimentación: es un proceso mecánico, en el cual se espera eliminar entre un 40 % a un 60 % de los sólidos, aprovechando para ello las diferencias entre los pesos específicos del fluido y los sólidos con la ayuda de la gravedad. La rapidez con la que pasa este proceso depende del tamaño de partícula, densidad relativa del sólido,

densidad y viscosidad del fluido. Para este tipo de sedimentación se puede tomar en cuenta material como concreto o acero, luego pasa a la sección de clarificado en el que se puede ser ya sea rectangular o circular.

- Flotación: en esta parte, se busca separar los sólidos restantes de la sedimentación, es decir, los sólidos cuya densidad es aún más baja. Para poder llevar a cabo este proceso se utiliza aire u otro tipo de gas, el efecto del aire es oxigenar la materia orgánica; maximizando el contacto con bacterias y beneficiando la degradación de la materia. La presión a la que ingresa el aire para poder saturar el aire de agua puede rondar entre 2 a 4 atmosferas, a menos que se haga uso de biodiscos.
- Neutralización: este proceso es alternativo, ya que se puede emplear si se va a utilizar, por ejemplo: si se regresará dicha agua a un entorno de vida acuática para no dañar a la flora y fauna o aguas residuales industriales que irán directamente hacía el alcantarillado público.
- Homogenización: Si se empleará la neutralización, la homogenización servirá para poder mezclar las corrientes con diferencia de pH en un tanque. (p. 9)

7.5.3. Tratamiento secundario

Según Troconis (2010), “esta etapa se puede considerar como un tratamiento final, después de este punto el agua será llevada a uso, es por ello que se espera que al finalizar este tratamiento se logre manejar alrededor de un 90 % de eliminación de contaminantes totales del agua”. (p. 18)

De acuerdo con Lozano (2012)

Este punto del saneamiento se conoce por contener una limpieza biológica, es decir, se busca eliminar las bacterias por medio de acciones de microorganismos, la principal diferencia entre los tratamientos primarios y secundarios es que el primario busca eliminar los sólidos visibles y en el tratamiento secundario se busca quitar la demanda bioquímica de oxígeno soluble y restos de materia que pudieran quedar del tratamiento primario, estimando que es un tratamiento de perfección. (p. 103)

7.5.4. Biodiscos

Al evaluar este tipo de sistemas novedosos, se pueden tomar varias tecnologías para poder ajustar el diseño. Según Menéndez y Dueñas (2020), los biodiscos son equipos caracterizados por ser parte de la división de procesos que contienen una película fija, en esta división se suele encontrar el filtro percolador, al optar por la tecnología de biodiscos las equivalencias necesarias de oxígeno tienen un valor de hasta el 95 %. De acuerdo con Espinoza (2010) la utilización de este tipo de alternativa llamada biodiscos es ideal para un grupo de comunidades medianas, lo cual indica que es aplicable a colonias.

Los biodiscos están recubiertos de una película de biomasa, estos tienen la característica principal de contener biomasa, por ende, en condiciones aeróbicas, la materia orgánica entra en un ciclo de cambio llamado degradación. Según Menéndez y Dueñas (2020), este proceso entra dentro de la clasificación, por su acción microbiana, en el proceso secundario para el sistema diseñado, haciendo que la degradación ocurra en la película por efecto del movimiento de los biodiscos. En términos de diseño, el biodisco debe estar parcialmente sumergido a modo de que la otra fracción esté en contacto con el aire atmosférico para

oxigenar parte del agua residual. Una vez añadida esta alternativa tecnológica, se puede considerar el acoplamiento de una fase primaria, sedimentación y desinfección.

7.6. Tipo de proceso

Para el diseño de un sistema capaz de sanear las aguas residuales domésticas, es necesario determinar qué tipo de proceso se llevará a cabo. Es por ello por lo que puede existir tanto procesos aeróbicos como anaeróbicos, esta división se da de acuerdo con los medios que se emplean para poder degradar la materia orgánica.

7.6.1. Proceso aerobio

En este tipo de proceso ocurre una reacción química redox, ya que utiliza el oxígeno para realizar un intercambio de electrones, por lo tanto, el oxígeno es el que se reducirá y el carbono presente será el que se oxide. Al degradar la materia orgánica por este tipo de proceso, es común que se forme nitrógeno amoniacal.

7.6.2. Beneficios del proceso aerobio

Según Espinoza (2010) el beneficio primordial al optar por el proceso aeróbico en un sistema de limpieza de aguas domésticas se encuentra en la ubicación, ya que se debe considerar que el sistema estará ubicado en los alrededores de la colonia Villa Lobos II, por ende, tendría a su alrededor casas. Al estar rodeado de casas, lo que menos se quiere es que se generen malos olores cerca del área. Otro beneficio que se puede tener del proceso aeróbico es que demanda menor tiempo a la hora de la puesta en marcha que los procesos anaeróbicos, disminuyendo la queja de vecinos cuando necesiten el agua.

7.7. Factibilidad

En cuestiones de diseño, no solo se debe tomar en cuenta factores como instrumentos o equipos dentro del sistema, también es necesario considerar la factibilidad de un proyecto, es por ello por lo que debe ser viable en los siguientes ámbitos:

- Técnicamente
- Socialmente
- Económica
- Financiera
- Legal
- Político
- Ambiental
- Institucional

En un proyecto de saneamiento de agua, se cumplen los ámbitos anteriormente descritos, sin embargo, se deben ajustar a las necesidades de los habitantes. Según Hernández y Ovando (2017) la viabilidad técnica se debe tomar en cuenta si anteriormente existía un proceso similar el cual deba ser mejorado.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

FIGURAS

TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Agua

1.1.1 Demanda de agua

1.1.2 Obtención de agua

1.1.3 Cualidades de agua

1.1.4 Acciones para el cuidado del agua

1.1.5 Mal uso del agua

1.2 Aguas residuales

1.2.1 Clases de aguas residuales

1.2.2 Composición

1.2.3 Factores que afectan las aguas residuales domésticas

1.3 Contaminantes

1.3.1 Distribución de contaminantes

1.3.2 Orgánicos e inorgánicos

- 1.3.3 Función del oxígeno
- 1.4 Población en Villa Lobos II
 - 1.4.1 Necesidades de agua por persona en área rural
 - 1.4.2 Personas por familia
- 1.5 Tratamiento de Aguas Residuales
 - 1.5.1 División por tipo de proceso
 - 1.5.2 Tratamiento primario
 - 1.5.3 Tratamiento secundario
 - 1.5.4 Biodiscos
- 1.6 Tipo de proceso
 - 1.6.1 Proceso aerobio
 - 1.6.2 Beneficios del proceso aerobio
- 1.7 Factibilidad
- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 3. RESULTADOS
- 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS
- APÉNDICE

9. METODOLOGÍA

La presente investigación se caracteriza por ser de tipo lógico inductivo, ya que, al ser catalogada dicha investigación como un diseño teórico, se tratará de acoplar el sistema propuesto a la comunidad evaluada, tomando para ello tanto estudios previos como diferentes criterios de diseño para poder realizar un análisis que sea lo más cercano a las necesidades de la comunidad de forma generalizada. Evaluando el origen de la investigación, se trabajará bajo un paradigma de tipo interpretativo, para ello se debe comprender y analizar primero las diferentes bibliografías existentes y criterios correspondientes, para luego interpretar si se puede o no adecuar el sistema propuesto a la comunidad.

9.1. Características del estudio

El enfoque de estudio propuesto es de tipo cualitativo de categoría nominal, ya que, al tener la necesidad de sentar las bases teóricas necesarias para evaluar la aplicabilidad de este tipo de proyectos, es necesario realizar una revisión bibliográfica para la correcta adecuación del sistema en la comunidad de interés.

El alcance propuesto a considerar es de tipo exploratorio, debido a la naturaleza del problema y por la nula existencia de trabajos de investigación relacionados a sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en la colonia de interés, necesitando para ello explorar diferentes soluciones para abordar la problemática actual.

El diseño adoptado será no experimental, esto surge de las condiciones de alcance expuestas, por lo que no se realizará un estudio de campo, implicando

que las variables manejadas no arrojaran un valor numérico como tal. La información de un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticos viable, se analizará en su estado original, tomando únicamente consideraciones como lo son el número de casas en el sector y el número de integrantes de una familia.

9.2. Unidades de análisis

La población de estudio a considerar será la contenida en la colonia Villa Lobos II, tomando como referencia estudios por parte del INE para el aproximado de número de personas por cada familia guatemalteca en la capital, para ello se tomará una base de cálculo 100 casas en la colonia en mención.

9.3. Variables

A continuación, en la tabla I se presenta el desglose de variables.

Tabla I. **Desglose de variables**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Tratamiento de aguas doméstico	Es producto de la utilización del agua en el hogar, ya que el agua pasa a estar contaminada y esto puede incrementarse al existir sólidos, desechos orgánicos entre otros. Este tipo de agua para poder ser utilizada debe pasar por un tratamiento de agua que dependerá del	Evaluando los beneficios, viabilidad económica y adecuación de tratamiento de aguas residuales domésticas basados en biodiscos de tipo aerobio en la comunidad de interés.

Continuación tabla I.

	origen de esta y de la cantidad de caudal, el cual será capaz de eliminar los contaminantes presentes del agua.	
Desabastecimiento de agua	Es la falta de agua, esto puede originarse por un nulo acceso al recurso hídrico o un acceso poco constante. Esta escasez puede ocasionar diferentes problemas tanto a nivel de salud como de higiene.	Determinando las necesidades de caudal teórico provenientes de los hogares por familia para la adecuación del diseño del sistema de aguas residuales domésticas

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

Para poder llevar a cabo la investigación, se deben cumplir diferentes pasos, con el fin dar un mejor análisis a nivel teórico de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticos capaz de poder adecuarse a las necesidades tanto presentes como futuras de la población.

- Fase 1: revisión bibliográfica

En la primera fase se realizará una consulta a un banco de información bibliográfica de las técnicas empleadas actualmente para el tratamiento de aguas residuales a nivel doméstico y determinar tanto los componentes necesarios para los tratamientos primarios y secundarios, así como evaluar los beneficios y adecuación de biodiscos.

- Fase 2: análisis financiero

En la segunda fase se realizará una evaluación financiera del coste aproximado de los componentes principales comprendidos tanto en el tratamiento primario como en el tratamiento secundario.

- Fase 3: esquema en tres dimensiones

Para la tercera y última fase, se realizará un esquema aproximado en tres dimensiones del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticos, con los equipos y elementos que conforman los procesos primario y secundario.

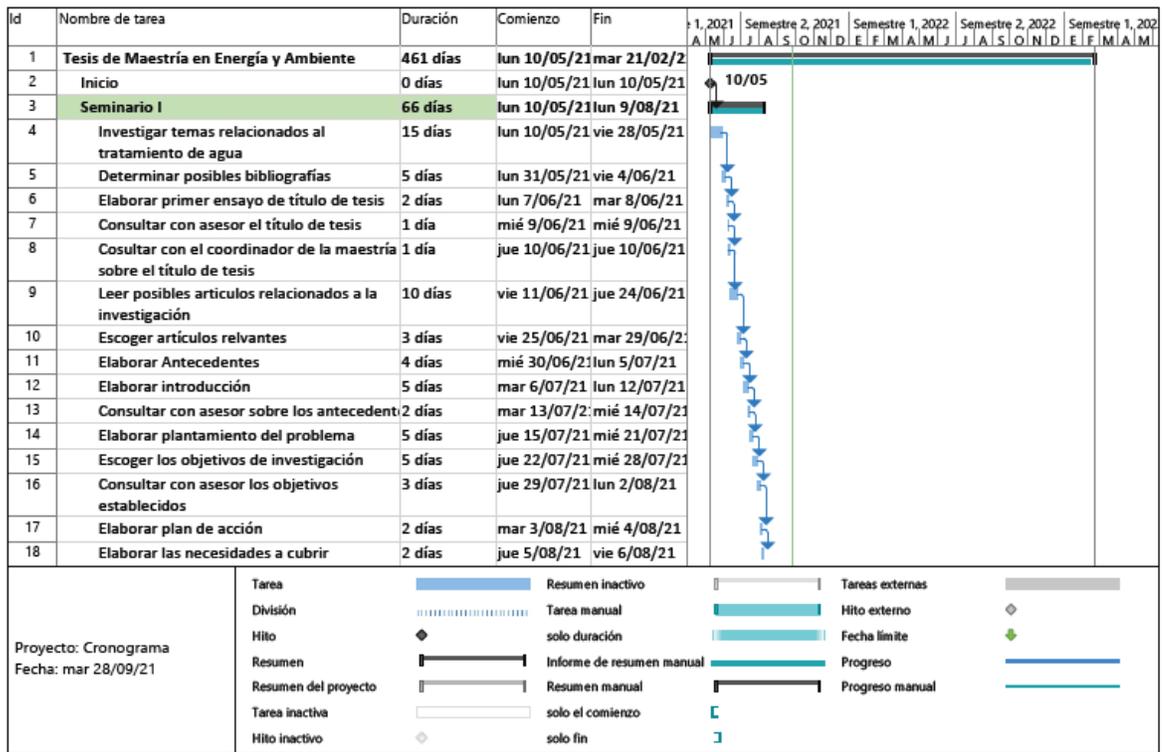
10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

La técnica por abordar durante la investigación será de tipo revisión documental, ya que se empleará la observación bibliográfica para recaudar la información necesaria, permitiendo de esa forma contener un mejor análisis de diseño para el correcto desarrollo de la investigación; a modo de brindar una sólida base documental sobre las correctas características de los procesos involucrados en el sistema de tratamiento aguas residuales domésticos propuesto para la colonia Villa Lobos II.

Una de las razones principales por las que se optó por la aplicación de este tipo de técnica, es debido a que actualmente no existe evidencia científica de la aplicación de este tipo de proyectos e instalación para tratamiento de aguas domésticas residuales en la colonia de interés, por lo que durante la investigación se buscará informar a cualquier investigador sobre los procesos alternos existentes para la reutilización del agua proveniente de los hogares de la colonia en mención, mostrando así un enfoque diferente hacia los procesos que actualmente se utilizan y proporcionando una base de información sobre la aplicación de este tipo de inventos en colonias ubicadas en la ciudad de Guatemala.

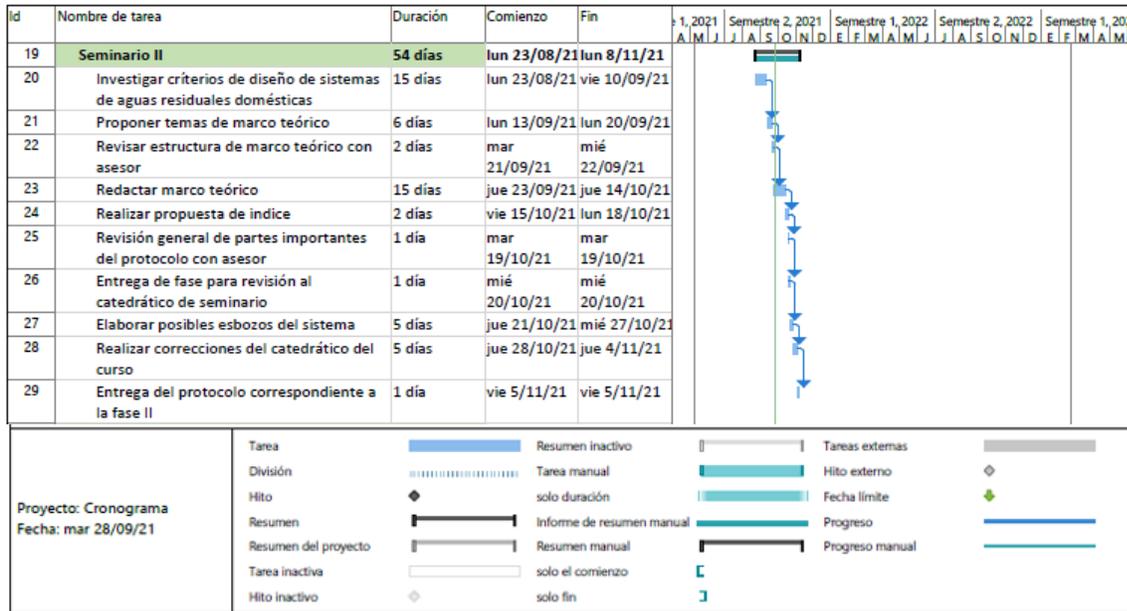
11. CRONOGRAMA

Tabla II. Diagrama de Gantt para el segundo trimestre



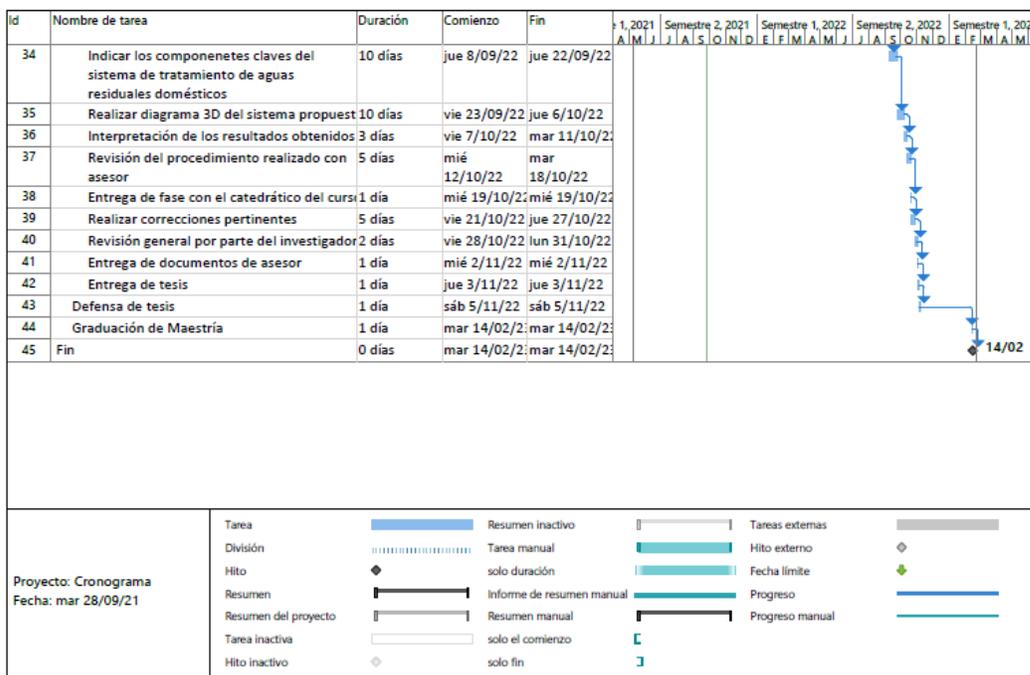
Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Diagrama de Grantt para el tercer trimestre



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Diagrama de Grantt para el sexto trimestre



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se elaborará a partir de recursos propios del estudiante de maestría, considerando para ello que la investigación es de tipo exploratoria. Para la elaboración de la investigación se utilizarán algunos recursos, los cuales ayudarán para el desarrollo y análisis de la información recopilados, los cuales son:

- Recursos humanos: aplicación de conocimientos tanto del investigador como de la asesora Maestra en Artes en Energía y Ambiente Adela María Marroquín González.
- Recursos tecnológicos: uso de software en general como Word y Excel, al igual que la aplicación de programas de diseño en tres dimensiones como lo es Sketchup.
- Acceso a la información: base de datos bibliográficos en general, sobre temas relacionados a la aplicación de sistemas de aguas residuales en hogares y los diferentes criterios de diseño.
- Recursos financieros: en esta sección se estiman los recursos necesarios durante la investigación, los cuales implican un coste a considerar durante la misma, para su mejor descripción de esta sección se utilizará la siguiente tabla.

Tabla V. **Recursos financieros**

No.	Recurso	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Investigador	70 horas	Q. 150.00	Q 10,500.00
2	Asesor de Tesis	15 horas	Q. 600.00	Q. 9,000.00
3	Impresora	1	Q. 2,000	Q. 2,000.00
4	Papel Bond	2 resmas	Q. 30.00	Q. 60.00
5	Programa Sketchup	1	Q. 900.00	Q. 900.00
6	Computadora	1	Q. 3,999.00	Q. 3,999.00

Fuente: elaboración propia.

Considerando que los recursos aportados son suficientes para la presente investigación, se estima que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. AQUAE Fundación . (7 de septiembre de 2021). *Las principales características del agua*. Fundación del agua. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/caracteristicas-agua/>
2. Bernal , D., Cardona, D., Galvis, A., y Peña, M. (2015). Guía de la Selección de Tecnología para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas por Métodos Naturales . *Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento* , 19-27.
3. Cardona , C., y Ochoa , B. (2013). La huella hídrica, un indicador de impacto en el uso del agua. *Tecnogestión* 10 , 20-25.
4. Castiblanco Poveda , M. C., y Díaz Villalba , J. F. (2017). *Diseño del sistema de tratamiento de aguas domésticas para el sector El Palmar*. UNIMINUT. Recuperado de <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/6691>
5. Castro *et al.* (2020). *Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales "PTAR Los Cebollales", en el Municipio de Panajachel, Departamento de Sololá, Guatemala*. Guatemala: EEPUSAC.
6. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (7 de Septiembre de 2021). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Chile: CEPAL. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>

7. Díaz Cuenca , E.; Alavarado Granados , A. y Camacho Calzada , K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (STRANE) en San Miguel Almaya, México. *Revista Quivera*, 78-97.
8. Durán Juárez , J. M.; y Torres Rodríguez, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*, 129-162.
9. Espinoza , R. E. (2010). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Juan de Miraflores*. (Tesis de Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales). Universidad de Piura, Perú. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1478>
10. Global Water Partnership . (2000). *Agua para el Siglo XXI: De la Visión a la Acción*. Argentina: Modulo 3.
11. Hernández, M. D., y Ovando , L. E. (2017). Diseño de Tanque de Captación y Tratamiento de Agua en Casillas, Santa Rosa. *Revista de la Escuela de Estudios de Postgrado*, 8 (1), 43-46.
12. INE. (2015). *Instituto Nacional de Estadística de Guatemala*. Guatemala: Gobierno de Guatemala.
13. Lozano , W. (2012). *Fundamentos de Diseño de Plantas Depuradoras de Aguas Residuales*. Bogotá Colombia: Universidad de Colombia.

14. Menéndez Gutiérrez , C., y Dueñas Moreno, J. (enero 2020). Criterios de Diseño y Escalado de Biodiscos para el Tratamiento de Aguas Residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XLI (2) 64-74.
15. Meseth Macchiavello, E. (noviembre 2013). Estudio de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Irlanda y su Impacto en el Medioambiente. *Ingeniería Industrial*. 31, 141-163.
16. Morcillo, Reyero, Calvo , y Vidal. (agosto 2007). Las Ilustraciones del Ciclo del Agua en los Textos de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 287-294.
17. Peralta Salgado, I. N. (marzo 2015). Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas en Guatemala. *Agua, Saneamiento y Ambiente*. 10 (1), 50-59.
18. Raffo, E., y Lizama , E. (abril de 2014). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
19. Raffo, L. (febrero 2013). Tratamiento del Agua y la Legislación Peruana. *Industrial Data* 16, 106-117.
20. Ramalho, R. (1990). *Tratamiento de Aguas Residuales* . Quebec: Reverté S.A.
21. Rojas, R. (2002). *Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales*. Argentina: OMS/ OPS.

22. Troconis, A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Miami: Mapa de la Plata.

23. Von, S. (1995). Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. *International Symposium on technology transfer*, 59-72.