



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL
MUNICIPIO DE SANTA MARÍA VISITACIÓN, SOLOLÁ**

Cristian David Morales Cruz

Asesorado por el M.A. Ing. Obdulio Boanerges Cotuc Santizo

Guatemala, septiembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL
MUNICIPIO DE SANTA MARÍA VISITACIÓN, SOLOLÁ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CRISTIAN DAVID MORALES CRUZ

ASESORADO POR EL M.A. ING. OBDULIO BOANERGES COTUC SANTIZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA VISITACIÓN, SOLOLÁ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 24 de junio de 2023.

Cristian David Morales Cruz



EEPFI-PP-1047-2023

Guatemala, 11 de julio de 2023

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingenieria Civil
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

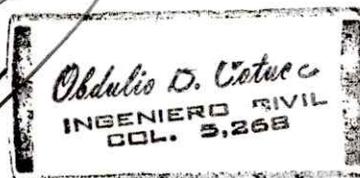
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA VISITACIÓN, SOLOLÁ.**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Planificación Estratégica, Operativa y Gestión para el Desarrollo - Seguimiento y evaluación de los resultados**, presentado por el estudiante **Cristian David Morales Cruz** carné número **201114646**, 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 Gestion De La Planificacion Para El Desarrollo.

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"



Mtro. Obdulio Boanerges Cotuc Santizo
Asesor(a)

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



Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

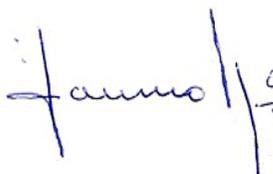




EEP.EIC.1004.2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA VISITACIÓN, SOLOLÁ.**, presentado por el estudiante universitario **Cristian David Morales Cruz**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela De Ingenieria Civil

Guatemala, julio de 2023





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.76.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA VISITACIÓN, SOLOLÁ.**, presentado por: **Cristian David Morales Cruz** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 19/09/2023 18:40:42
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, septiembre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 76 CUI: 2521081830114

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme permitido realizar una más de mis metas.
- Mis padres** Manuel Morales e Imelda Cruz (q. d. e. p.), por haberme traído al mundo y guiado a través de él, mi eterno agradecimiento por su apoyo para hacer realidad este sueño.
- Mi hermana** Mónica Morales Cruz, por su apoyo y compañía en mi vida.
- Mi novia** Lilia Escobar, por acompañarme, apoyarme e impulsarme en el cumplimiento de mis metas.
- Mis amigos** Luis Castañeda, Herbert Ramos, Javier López, Javier Abascal y Cristóbal Castellanos por ser un apoyo en todo momento en la carrera y la vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma <i>mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Municipalidad de Santa María Visitación	Por abrirme las puertas y haberme brindado la información necesaria para realizar este diseño de investigación.
Mis compañeros de Maestría	Julieta Chiyal, Alan Ramírez, Álida Santizo y Deivs Ocampo por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera.
Mi asesor	M.A. Ing. Obdulio Boanerges Cotuc Santizo, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.
Familia y amigos en general	

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Descripción del problema	8
3.2. Formulación del problema	8
3.3. Delimitación del problema	9
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. Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	17
7.1.1. Tipos de tratamiento	17

7.1.2.	Componentes típicos.....	21
7.2.	Plan de operación y mantenimiento	25
7.2.1.	Plan de operaciones.....	25
7.2.2.	Estrategia de operaciones.....	26
7.2.3.	Seguridad ocupacional	27
7.2.4.	Mantenimiento	28
7.2.5.	Tipos de mantenimiento	29
7.2.6.	Plan de mantenimiento.....	30
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	31
9.	METODOLOGÍA	35
9.1.	Características del estudio	35
9.2.	Unidades de análisis	35
9.3.	Fases del estudio	36
9.3.1.	Fase 1: revisión bibliográfica	37
9.3.2.	Fase 2: recolección de la información	37
9.3.3.	Fase 3: análisis de información	38
9.3.4.	Fase 4: elaboración de los planes de operación y mantenimiento.....	39
9.3.5.	Fase 5: propuesta de método de capacitación.....	39
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	41
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	43
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	45
13.	REFERENCIAS	47

14. APÉNDICES..... 51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Planta de sistema manual de rejillas.....	19
Figura 2.	Perfil de un sedimentador	22
Figura 3.	Esquema de filtro percolador	24
Figura 4.	Cronograma de actividades del proyecto de investigación	43

TABLAS

Tabla 1.	Categorías de análisis.....	36
Tabla 2.	Recursos necesarios para la investigación	45

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$Q_{efluente}$	Caudal efluente
$Q_{influyente}$	Caudal influente
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

Aguas residuales	Son aguas que han sido usadas en entorno doméstica o industrial.
Calidad de vida	Factores que inciden en el bienestar de la población.
Caracterización	Conjunto de detalles que constituyen la apariencia y el comportamiento de un elemento.
Carga contaminante	Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual.
Coagulante	Producto químico utilizado para el proceso de coagulación.
CONRED	Coordinadora nacional para la reducción de desastres.
Desfogue	Cota más baja de un complejo hidráulico, punto en donde se regresa el agua al cauce del río.
Diseño hidráulico	Cálculo de los parámetros necesarios para un sistema hidráulico.
EPP	Equipo de protección personal.

Filtro percolador	Filtro biológico que opera bajo condiciones aeróbicas.
Energía cinética	Energía debida a un movimiento determinado.
Gobierno local	Gobiernos autónomos, electos de forma directa por el pueblo con el mandato de impulsar el desarrollo de su territorio.
Hidráulico	Que se relaciona con agua o un fluido.
<i>Imhoff</i>	Tecnología de tratamiento primario para aguas residuales.
<i>In situ</i>	Que se realiza en el sitio.
Inorgánico	Que no se compone de materia orgánica.
Mantenimiento	Conservación de una cosa para evitar su degradación.
Manual	Guía de instrucciones.
NRD-2	Norma de reducción de desastres número dos
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible.
Operación	Ejecución de una acción.
Orgánico	Que se compone de materia orgánica.

Proceso aerobio	Proceso que ocurre en presencia de oxígeno.
Proceso anaerobio	Proceso que ocurre en ausencia de oxígeno.
Recurso hídrico	Agua.
Sedimentación	Proceso por el cual las partículas más pesadas que el agua son removidas por la acción de la gravedad.
Tratamiento	Acción que permite tratar las aguas residuales.

RESUMEN

Este estudio se enfoca en el desarrollo de un plan de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, en el municipio de Santa María Visitación, Sololá. Se desarrollo parte de la necesidad de mejorar la gestión de aguas residuales en la región, considerando los desafíos específicos que enfrenta el municipio.

A través de un enfoque integral, se busca establecer lineamientos claros y eficientes, para la operación y el mantenimiento de las plantas de tratamiento, con el fin de garantizar su funcionamiento óptimo y sostenible a largo plazo. El estudio se basa en un análisis de las condiciones locales, las capacidades existentes y las mejores prácticas en el campo. Se espera que este plan contribuya significativamente a la protección del medio ambiente y la mejora de la calidad de vida de los habitantes de Santa María Visitación.

El presente diseño de investigación busca contribuir con la entrega de un servicio de tratamiento de aguas eficiente, para la población de Santa María Visitación y que se pueda cumplir con una de las competencias de las municipalidades en Guatemala que es ofrecer servicios de calidad.

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en Santa María Visitación son una parte fundamental del saneamiento del municipio. A pesar de la importancia de estas instalaciones en la preservación del medio ambiente y la salud pública, se ha identificado una falta de protocolos claros y eficientes para su funcionamiento y conservación a largo plazo. Esta carencia ha llevado a problemas de rendimiento, costos excesivos y riesgos para la salud.

El propósito de este estudio es desarrollar un plan de operación y mantenimiento, a nivel institucional para plantas de tratamiento, lo cual constituye una contribución original en Guatemala, dado que, aunque existen investigaciones previas que han generado manuales, hasta la fecha no se ha encontrado ninguna propuesta que aborde de manera integral y sistémica las necesidades de planificación y gestión a nivel institucional. Por lo tanto, este estudio se centra en llenar este vacío, proporcionando un enfoque completo y práctico para asegurar el funcionamiento eficiente y sostenible de las plantas de tratamiento de manera institucional.

Con la solución propuesta se espera que la población de Santa María Visitación reciba un servicio de tratamiento de aguas eficiente e ininterrumpido. Mantener las plantas operando de forma correcta, contribuye con la reducción de la carga contaminante para la cuenca del río Nahualate y disminuye la proliferación de enfermedades a causa de la contaminación. Esto está alineado con lo establecido en los ODS, específicamente en el número 6 correspondiente a agua limpia y saneamiento.

Para generar la propuesta del punto de la tesis, se realizarán una recolección de datos cualitativos de las plantas de tratamiento del municipio, con esta matriz se contará con información para identificar si el proceso de tratamiento, condiciones generales, funcionamiento actual, entre otros. También se realizará evaluación de la capacidad del personal de operación, tanto del conocimiento de los componentes como de la operación y mantenimiento de cada uno, esta información será un punto de partida para la propuesta de una herramienta de capacitación.

Para finalizar, con todos los datos obtenidos anteriormente, se realizará un análisis de la formulación del plan de operación y mantenimiento, tomando en consideración todas las condiciones encontradas, tanto a nivel institucional como en los espacios físicos de las instalaciones. La información obtenida con el apoyo de la municipalidad, el trabajo y financiamiento del investigador hacen que la propuesta sea viable y factible.

2. ANTECEDENTES

En la actualidad existe trabajos de investigación, que destacan la importancia de contar con un manual de operación y mantenimiento en plantas de tratamiento, ya sean domiciliarias, industriales, comerciales o de uso mixto. Principalmente, se han enfocado en la descripción de actividades que se recomiendan para un uso correcto y, a través de un mantenimiento adecuado, que amplíen el tiempo de vida de la planta.

El trabajo titulado *Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ubillus*, Velasco (2017) plantea en su objetivo general que la finalidad de tener un manual de operación y mantenimiento es, “tener una operación confiable, continua y eficiente” (p.4). El autor indica dentro de los alcances establecidos que el manual “será aplicable como documento de referencia para la ejecución de cada actividad de control y su verificación a través de sus registros de operación y mantenimiento” (p.45), es importante resaltar que se puede generar un registro de las actividades realizadas, según el manual, y este servirá de referencia para mantenimientos futuros.

En la tesis *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo, para los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente al aeropuerto internacional Mariscal Sucre a cargo de la empresa Ingeniería y servicios ambientales ISA S.A.* Calo y Vasco (2017), se realizó la caracterización de los diferentes modelos de mantenimientos y las tareas asignadas por cada uno de estos, lo que permitió identificar, ordenar y agrupar por tipo.

Asimismo, indica dentro de sus recomendaciones: “aplicar el plan de mantenimiento diseñado y evaluar los resultados en un periodo recomendado de un año” (p. 89). Es importante considerar que la implementación y análisis de esta debe ser continuidad de la presente investigación, tomando en cuenta que no se pueden obtener resultados inmediatos a la realización del manual.

En Piura, Perú, se hizo un estudio llamado *Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Indio” para la obtención de la autorización de reúso*, en el cual el autor concluyó lo siguiente “En las plantas de tratamiento de aguas residuales la deficiencia recurrente es el apropiado mantenimiento”, Lorren (2018). Luego de hacer la evaluación completa de la operación, el autor determinó que, a pesar de que la empresa que tiene a cargo la operación de la planta cuenta con un plan de mantenimiento semestral, este no es ejecutado de la forma correcta. Adicional a esto, el personal que labora en la planta no tiene la capacitación necesaria, para poder realizar las actividades de operación y mantenimiento preventivo y, de igual forma, no se percibe la intención de querer capacitarse y obtener los conocimientos necesarios.

En Quito, Ecuador, se realizó la investigación *Diseño de un plan de medidas de control para operaciones de mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales tipo Imhoff*, Rueda (2022), en la cual el autor se centró en identificar los riesgos a los que los operadores están expuestos, en la operación de una planta de tratamiento y a partir de esto generó una matriz, la cual sirvió para generar un plan de gestión para minimizar, o incluso eliminar, dichos riesgos.

Luego del análisis de riesgos, el autor demostró que existe una relación existente, entre los riesgos hacia los colaboradores y el que se cumpla con el plan de mantenimiento, por lo que concluyó que “se espera que el modelo de

plan industrial basado en el proceso mismo genere un efecto positivo en los indicadores de seguridad actuales y, por ende, la calidad del servicio" (p. 54). De esta conclusión se destaca que, el cuidar de la seguridad del personal, en este caso, tiene una relación directa, con el cumplimiento del plan de mantenimiento y la calidad del servicio que se ofrece. Por esta razón, se hace indispensable el incluir dentro del plan, los requisitos mínimos para garantizar la seguridad de los operadores.

El Código Municipal (2002), en el título III, referente al gobierno y la administración del municipio, establece que una de las atribuciones del concejo municipal es: "El establecimiento, planificación, reglamentación, programación, control y evaluación de los servicios públicos municipales, así como las decisiones sobre las modalidades institucionales para su prestación, teniendo siempre en cuenta la preeminencia de los intereses públicos" (p. 9). En este inciso queda establecido que es responsabilidad de la municipalidad, el velar por la correcta operación de los servicios públicos y garantizar su funcionamiento eficiente para el bienestar de la comunidad.

Dentro del mismo código, en el artículo 68, se encuentran listadas las competencias de cada municipio y, en uno de sus incisos, se establece que la municipalidad es la responsable de los sistemas de alcantarillado y por ende de la disposición de las aguas recolectadas, así como del resto de servicios que debe prestar.

A nivel nacional, varias entidades ya cuentan con un manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, esto para cumplir los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236 - 2006. El objetivo principal de estos es ofrecer el servicio de forma adecuada y continua a los vecinos.

A modo de ejemplo se tiene el documento *Sistema de tratamiento de aguas residuales desfogues de la cabecera municipal del municipio de Tejutla, San Marcos, ubicada en colonia Las Cruces, zona 3*, Municipalidad de Tejutla (2021) en este se presentan generalidades del sistema, actividades de operación y mantenimiento, controles periódicos para asegurar el funcionamiento e integridad de la planta.

Este documento presenta como uno de sus objetivos lo siguiente: “capacitar al encargado en la operación y mantenimiento de las unidades de tratamiento, de modo que requiera solo de administraciones específicas sobre el funcionamiento de las unidades” (p. 2), este indica, de forma implícita, que el contar con personal capacitado reduce la necesidad de contratar servicios adicionales para mantener el funcionamiento de la planta y ahí toma importancia lo indicado en las generalidades con respecto al personal: “debe conocer, las condiciones de diseño y construcción de las mismas, y además tener suficiente capacidad y preparación para interpretar y reformar las condiciones de funcionamiento debido a algunas fallas o cambios en las condiciones de diseño y construcción” (p. 2).

Con base en lo anterior, se debe considerar dentro del plan la capacitación del personal no solo las actividades correspondientes a operación y mantenimiento, sino el funcionamiento e indicaciones de los equipos que se utilizan en las plantas, si así fuese requerido.

Según la información encontrada en los documentos de referencia, se puede decir que la existencia y el uso de un manual de operación y mantenimiento para las plantas de tratamiento es de beneficio para la población, ya que estos pueden hacer uso del servicio eficiente y de calidad para contribuir con la mejora de la calidad de vida de los vecinos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los gobiernos locales deben trabajar y velar por mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Ofrecer servicios públicos de calidad contribuye con la mejora constante de la calidad de vida que se busca y es vital asegurar el correcto funcionamiento de estos servicios públicos, para garantizar el bienestar y desarrollo de las comunidades.

La descarga de aguas negras sin tratamiento son una amenaza para el medio ambiente, por lo tanto, es importante que la disposición de estas se haga de la manera correcta y en cumplimiento de los parámetros establecidos en el acuerdo gubernativo 236-2006. Por consiguiente, es importante que las plantas de tratamiento existentes estén operando adecuadamente y que se cuente con el personal capacitado, para velar por el correcto funcionamiento y mantenimiento de estas.

- Contexto general

En la actualidad, la municipalidad de Santa María Visitación enfrenta la problemática del funcionamiento limitado de sus plantas de tratamiento de aguas residuales. A pesar de contar con 7 plantas instaladas en el casco urbano y rural, solo se dispone de 2 operadores responsables de su puesta en funcionamiento y mantenimiento. Esta falta de recursos humanos adecuados genera interrupciones en el servicio, afectando la calidad del servicio y la salud de los ciudadanos.

3.1. Descripción del problema

A pesar de que en el municipio ya se cuentan con plantas de tratamiento instaladas, el funcionamiento de estas no ha sido el esperado. Una de las causas principales ha sido la falta de personal capacitado en las actividades de operación y mantenimiento de las plantas y recursos insuficientes para dichas actividades, lo que resulta en consecuencias, como la contaminación de los cuerpos de agua y riesgos para la comunidad. Asimismo, a este punto, no existe un modelo de capacitación de operadores y un documento que oriente las actividades y tiempos para la operación el mantenimiento de cada una de las plantas.

Es importante tener presente que el tratamiento, por el municipio pertenecer a la cuenca del río Nahualate, contribuye con la conservación ambiental y ecológica para con el cuerpo natural de agua dulce, que contribuye a la economía y turismo del departamento.

3.2. Formulación del problema

En la actualidad, la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio no es la ideal. El manejo, por falta de personal capacitado y parámetros de funcionamiento establecidos, ha llevado que algunas hayan detenido sus operaciones.

- Pregunta central
 - ¿Es necesario un plan de operación y mantenimiento para el correcto funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Santa María Visitación, Sololá?

- Preguntas auxiliares

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Qué acciones son necesarias para la operación y mantenimiento de plantas de tratamiento?
- ¿Cuenta el personal responsable del mantenimiento con las capacidades necesarias para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento?
- ¿Contribuye con la mejora de la calidad de vida el contar con un servicio de tratamiento de aguas residuales eficiente?

3.3. Delimitación del problema

Siendo el proceso final de un sistema de saneamiento, es importante que el funcionamiento de estas sea el adecuado y manera interrumpida. La disposición de las aguas sin el tratamiento necesario solo genera contaminación en las áreas donde se haga la descarga, esto tiene una repercusión ambiental y una de salud pública, en ambas los resultados de no entregar un servicio óptimo son fatales.

En el presente estudio, inicialmente, se debe identificar el tipo de plantas de tratamiento instaladas en el municipio y a partir de esto se propondrán las actividades necesarias, para que sean operadas y las actividades mínimas de mantenimiento, según la necesidad de cada una.

Lo anterior genera la necesidad de contar con personal, que pueda llevar a cabo las actividades de la operación y mantenimiento para las plantas, por tal motivo, se debe generar un modelo de capacitación en el cual se integre lo propuesto en el párrafo anterior. de manera que sea comprensible para cualquiera que se integre al equipo de operadores.

4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación sustenta su justificación de acuerdo con los lineamientos del área planificación estratégica, operativa y gestión por resultados, dentro de las líneas de seguimiento y evaluación de los resultados y de planificación, orientada a resultados según el currículo de la Maestría en Gestión de la Planificación para el Desarrollo. Con esta investigación se contribuirá a que la población del municipio de Santa María Visitación reciba el servicio de tratamiento de aguas negras de manera adecuada y aportará a la mejora continua, en los procesos de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio.

En este trabajo se determinará el tipo de tratamiento utilizado en las plantas instaladas en el municipio, para el saneamiento de las aguas residuales, que incluye la clasificación de estos, de acuerdo con sus características específicas.

A partir de la información que se obtenga del párrafo anterior, se definirá el listado de actividades necesarias para la correcta operación de las plantas, este comprenderá las tareas y procesos que, se deben llevar a cabo con regularidad con el fin de asegurar el funcionamiento óptimo de las instalaciones. De igual forma, se establecerán los procedimientos mínimos para llevar a cabo el mantenimiento que sea requerido en las plantas.

Este trabajo proporcionará a la Municipalidad de Santa María Visitación, lineamientos y procedimientos a seguir, que contribuyan con la correcta

capacitación del personal encargado de la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Desarrollar un plan de operación y mantenimiento para las plantas de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Santa María Visitación.

5.2. Específicos

1. Definir las acciones necesarias para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa María Visitación.
2. Proponer un manual de capacitación para el personal encargado de la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de Santa María Visitación.
3. Determinar si la implementación de un plan de operación y mantenimiento para las plantas de tratamiento de aguas residuales contribuye con la mejora de la calidad de vida de la población.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

A partir del presente estudio se contará con un proceso establecido para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento en el municipio de Santa María Visitación, Sololá. Mediante la investigación se identificarán, el tipo de plantas instaladas y a partir de esto, se plantearán las actividades que correspondan a cada una.

La necesidad de contar con un plan de operación y mantenimiento es debido al uso que actualmente se les está dando a las plantas. El personal a cargo de estas actividades, además de ser limitado en cantidad, está limitado en la capacidad de llevarlas a cabo, por la falta de capacitación y seguimiento de dichas actividades.

El presente estudio aportará la información de las actividades necesarias, para que todas las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio operen de forma adecuada, asimismo, que sus instalaciones se mantengan pulcras, para que el funcionamiento de las plantas no se vea afectado.

Al determinar lo anterior, se estará mejorando la eficiencia de la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, también se contribuirá con el material necesario para la capacitación del personal que se encargará de velar por el funcionamiento de las plantas.

Todas estas acciones contribuirán con la mejora de la calidad de vida de la población, al obtener un servicio de tratamiento de aguas negras eficiente y de

manera ininterrumpida a causa de fallas por falta de mantenimiento o por desconocimiento de la operación de las plantas.

7. MARCO TEÓRICO

En el marco teórico de la presente investigación cualitativa, se examinarán y describirán a detalle las dimensiones de las variables seleccionadas. Esto permitirá otorgar sentido y comprensión a la investigación, brindando una base sólida para la interpretación y el análisis de los datos obtenidos.

7.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son instalaciones que se encargan de recibir el caudal de aguas negras, de un sistema de alcantarillado de un área específica, aplicar un tratamiento para reducir la carga contaminante y descargar las aguas tratadas a un cuerpo receptor.

Según las condiciones y capacidad económica de la población, se deberá definir el tipo de tratamiento que mejor se adecuó a las necesidades de cada uno. Como lo indica Romero (2010) “La mejor alternativa de tratamiento se selecciona con base en el estudio individual de cada caso, de acuerdo con las eficiencias de remoción requeridas y con los costos de cada una de las posibles soluciones técnicas” (p. 139).

7.1.1. Tipos de tratamiento

Durante el proceso de tratamiento, se lleva a cabo la eliminación de las sustancias disueltas y suspendidas presentes en las aguas. Por medio de una combinación de métodos físicos, químicos y biológicos, se busca eliminar

eficientemente los contaminantes, para que la disposición final de las aguas, sea amigable con el medio ambiente y la salud pública.

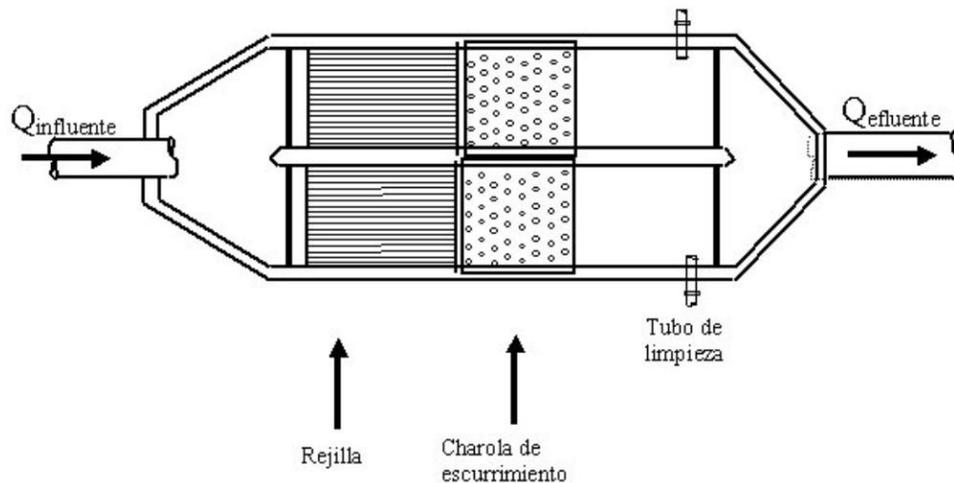
En su investigación Roca (2020), identifica 4 etapas de tratamiento siendo estas la preliminar o pretratamiento, el primario, el secundario y el terciario. Y se definirá cual es la indicada, para la planta, a partir de la caracterización de las aguas negras del sistema de alcantarillado que se vaya a tratar.

- Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar o pretratamiento consta de retirar los desechos sólidos inorgánicos, que podrían afectar la conducción de las aguas dentro del sistema de tratamiento. “Las principales unidades son las rejas o cibras de barra y el desarenador” (p. 10).

Figura 1.

Planta de sistema manual de rejillas



Nota. Ejemplo de una planta de sistema manual de rejillas. Obtenido de I. Allende (2001). *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento para aguas residuales.* (p. 205.) UNAM.

- Tratamiento primario

En la conferencia *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*, Rojas (2002), el autor indica que el tratamiento primario “Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante” (p. 12).

La sedimentación inicial es muy importante en este sistema y esta, se puede producir en tanques donde se almacene el agua un período de tiempo establecido o, dependiendo de la caracterización de las aguas, se puede realizar a partir del uso de coagulantes.

- Tratamiento secundario

“Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculantes que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación” (Rojas, 2002, p. 13).

El procedimiento secundario común, implica utilizar un proceso biológico, para permitir que las bacterias aerobias, descompongan la materia orgánica presente en el agua. Este proceso implica mezclar el efluente del tratamiento primario, con agua que contiene microorganismos activados, en tanques equipados con sistemas de burbujeo o agitación para crear condiciones aerobias óptimas para el crecimiento de los microorganismos.

- Tratamiento terciario

El tratamiento terciario es la fase más sofisticada del tratamiento de aguas residuales. En esta etapa, se emplea un proceso fisicoquímico que incluye la precipitación, filtración y cloración, con el fin de disminuir significativamente los niveles de nutrientes orgánicos, especialmente fosfatos y nitratos.

Céspedes (2019) en su investigación indica que “el proceso de tratamiento terciario biológico presenta mejores resultados en comparación con los procesos químicos, que en general, son demasiado costosos de implementar en la mayoría de los lugares y que pueden conducir a una contaminación secundaria.” (p.15). Por lo cual, pareciera ser el indicado para las áreas rurales, en donde se tiene un presupuesto limitado y condiciones para aprovechar las aguas tratadas en usos agrícolas o de construcción.

7.1.2. Componentes típicos

Las plantas se componen de elementos, que apoyan al cumplimiento de las fases de tratamiento, según sea el elegido. Tomando en cuenta los posibles sistemas a encontrar en Santa María Visitación se ampliará en los componentes de un sistema anaerobio o mixto.

- Canal de rejas

El canal de rejas se encuentra en el ingreso del caudal a la planta de tratamiento, su función es retener los sólidos de dimensiones grandes y de preferencia inorgánicos. Se compone de un canal y una serie de rejas, con diferente separación entre sus barras. Espinoza (2010) describe las rejas de la siguiente manera:

Son dispositivos constituidos por barras metálicas paralelas e igualmente espaciadas, éstas pueden ser rectas a curvadas, su finalidad es retener sólidos gruesos, de dimensiones relativamente grandes, que estén en suspensión o flotantes, por lo general son la primera unidad de una planta de tratamiento y se ubican en forma transversal al flujo de agua en los canales de ingreso (p. 136).

- Vertedero de demasías

Es una estructura hidráulica, diseñada para el paso libre de exceso de agua, que podría ingresar al sistema de tratamiento sin ningún control o agua residual, de procedencia dudosa, que puedan causar fallas en el funcionamiento

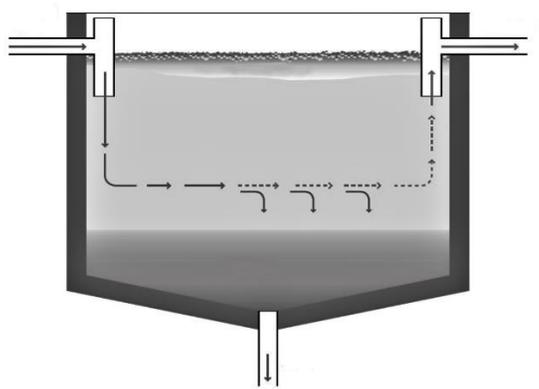
del sistema. El exceso puede relacionarse con la filtración de aguas de lluvia al sistema de alcantarillado, que sobrepasa el caudal de diseño de las plantas de tratamiento.

- Sedimentador

Se encarga de la sedimentación de los sólidos suspendidos, esto a partir de la retención de las aguas por un período de tiempo definido. Roca (2020) indica que “la separación de los sólidos es el último paso en la producción de un efluente estable, bien clarificado, y con bajo contenido en sólidos suspendidos” (p. 21)

Figura 2.

Perfil de un sedimentador



Nota. Ejemplo de perfil de un sedimentador. Obtenido de E. Tilley, L. Ulrich, C. Lüthi, P. Reymond, R. Schertenleib y C. Zurbrügg. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento.* (p. 102.) BID.

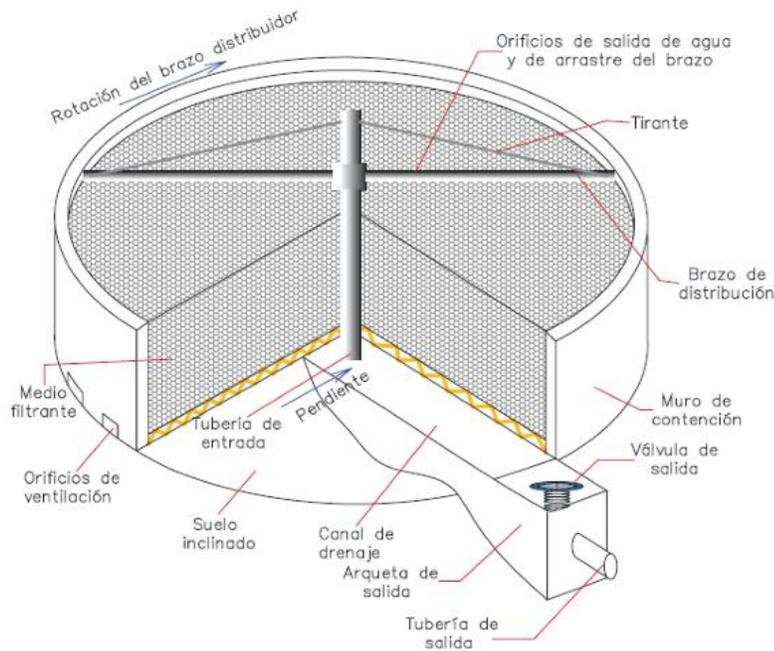
- Filtro percolador

En el trabajo de tesis *Sistemas aerobios adheridos: filtros percoladores*, España (2017) se definen de la siguiente manera: “Los filtros percoladores son un tipo de tratamiento biológico aerobio en donde los organismos tienen un medio de soporte al cual adherirse y por el cual se percola el agua residual de forma descendente” (p. 5).

El medio de soporte o unidad filtrante no tiene un material específico asignado. Por su bajo costo y la facilidad de encontrarlo, las unidades suelen ser de distintos tipos de piedra, siendo las más comunes las piedras volcánicas. Con esta unidad filtrante se genera un área de contacto mayor, debido a su porosidad, por lo tanto, la película de adherencia de los organismos es directamente proporcional a su área.

Figura 3.

Esquema de filtro percolador



Nota. Ejemplo de Esquema de las partes que componen a un filtro percolador. Obtenido de C. Carvajal (2020). *Modelo para comparar diseños de filtro percolador.* (p.18.) Escuela colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

- **Patio de secado**

El patio de secado es el área asignada para la deshidratación de los lodos. Cuentan con una base de arena y piedrín, la cual permite una mejor filtración del agua hacia un pozo de absorción.

7.2. Plan de operación y mantenimiento

Un plan de operación y mantenimiento es una herramienta que compila la información del funcionamiento, recursos, plazos y responsabilidades de un proyecto o servicio para así garantizar que el proceso sea el adecuado y de esta manera se cumpla con la calidad requerida.

En el libro *Gestión por procesos y riesgo operacional*, Pardo (2017), el autor describe los procesos como “El conjunto de actividades interrelacionadas mediante las cuales unas entradas se transforman en unas salidas o resultados. Representa lo que tenemos que hacer, el trabajo a desarrollar para conseguir un determinado resultado” (p. 17). Con base en esa definición, se da a entender que un proceso bien establecido, dará como resultado un servicio o productos con la calidad que se espera.

7.2.1. Plan de operaciones

El fin de un plan de operaciones es establecer los recursos necesarios, ya sean estos humanos o materiales, para llevar a cabo los procesos que dirijan al cumplimiento de los objetivos planteados. Para esto se deben considerar todas las variables que afecten el proceso y, a partir de su análisis, generar las propuestas pertinentes y sistemáticas según sea el caso.

Este debe contar, como mínimo, con la descripción del producto o servicio, las capacidades técnicas del personal requerido, un sistema de ejecución, un análisis de fortalezas y debilidades de la entidad, fuentes de financiamiento y las recomendaciones del investigador para contribuir con el cumplimiento del proceso que se establezca.

7.2.2. Estrategia de operaciones

En la actualidad, no existe una definición específica y exacta para el concepto de estrategia de operaciones. Anderson, Cleveland y Schroeder (1989) lo estipula como un plan con una visión a largo plazo, para la función de las operaciones, y es que el contar un método sistemático para el funcionamiento de un negocio, una planta e incluso cualquier entidad del sector público, garantiza la entrega de un producto o servicio de calidad y es por esta razón que se busca la eficiencia general del proceso, para que el beneficio sea percibido tanto para quien lo entrega como para el que lo recibe.

La estrategia proporciona las directrices y los pasos a seguir, durante el proceso con el fin de hacer más fácil la toma de decisiones. Dicho de otra forma, la estrategia brinda un marco de trabajo que sirve de guía y orienta en la toma de decisiones, da una visibilidad más amplia con respecto a los pasos a seguir y las acciones a emprender.

La estrategia de operaciones debe guiarse de la estrategia de la entidad a través de cinco importantes áreas de decisiones: proceso, capacidad, inventario, fuerza de trabajo y calidad.

En el área de proceso se debe definir el esquema físico, con el cual se produce o ejecuta el servicio; las instalaciones y su distribución, los equipos necesarios, el flujo de la operación, entre otras condiciones que tengan relación directa con el espacio físico donde se desarrolla el proceso.

La categoría de capacidad se refiere directamente al suministro del servicio, cuánto producto se puede entregar, a cuantos beneficiarios se pretende

atender, siempre tomando en cuenta que de este análisis depende la dimensión de las instalaciones que se propongan.

Con respecto a las decisiones de los inventarios, se determina lo que se debe ordenar, que tanto pedir y cuando solicitarlo. Una administración eficiente de estos permitirá tener el control, tanto físico como financiero, de los suministros requeridos para la operación en el momento preciso.

En el área correspondiente a la fuerza de trabajo, se deben considerar los perfiles necesarios del personal requerido, en estos se deben tomar en cuenta las capacidades, la capacitación y la remuneración para cada elemento dentro de la operación.

Y por último en la categoría de calidad, no se refiere solo a la calidad del producto o servicio, sino también incluye la de la operación en general. Garantizar que el proceso sea eficiente desde su concepción tendrá una relación directa, con que el resultado cuente con las características que se esperan.

7.2.3. Seguridad ocupacional

En Guatemala se cuenta con el *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*, Acuerdo gubernativo 229-2014 (2014), el cual no da las directrices para garantizar condiciones laborales seguras para los empleados, tanto del sector privado como del público. Asimismo, se cuenta con la *Norma para la reducción de desastre No. 2 NRD-2*, CONRED (2019), la cual presenta a detalle los parámetros mínimos para la seguridad en edificaciones e instalaciones de uso público.

En esta investigación se tendrá un enfoque en la seguridad del personal, por medio del uso de equipo de protección personal (EPP) y condiciones seguras del ambiente de trabajo. Robledo (2014) establece que “La seguridad del personal general y de los operarios, parte del conocimiento que estos tengan de las posibles fallas y del programa de mantenimiento que se siga.” (p. 165). El anterior enunciado remarca la importancia que tiene para la seguridad, el tener bien definido el esquema de mantenimiento de las instalaciones.

7.2.4. Mantenimiento

Cuando se habla a mantenimiento, comúnmente se refiere a la necesidad de preservar el funcionamiento de alguna herramienta o equipo, esto para prolongar la vida útil del mismo.

En trabajo de investigación presentado por Cilio (2017), con respecto a los sistemas de gestión de mantenimiento indica que:

El sistema de gestión de mantenimiento dentro de cualquier empresa debe estar implantado de tal manera que exista un adecuado manejo de los equipos e información para obtener eficiencia y calidad en el producto ofertado al consumidor o en el servicio entregado a la sociedad (p. 16).

Con esto como base, se puede asegurar que el principal fin de un mantenimiento, es la conservación de las herramientas o equipos en estado óptimo, para la preservación de la calidad del producto o servicio que se está ofreciendo.

7.2.5. Tipos de mantenimiento

Es muy importante identificar el tipo de mantenimiento necesario según el plan de gestión y el equipo que se esté interviniendo. De esta manera, se tendrá en consideración el proceso apropiado para llevarlo a cabo.

El mantenimiento correctivo, es el que se realiza hasta que la herramienta o el equipo presentan una falla, según Cilio (2017) “esta clase de mantenimiento provoca en los equipos daños severos que se ven reflejados en altos costos de reparación” (p. 16). Es importante considerar que para realizar este tipo de mantenimiento las operaciones del equipo deben detenerse para que se puedan realizar las reparaciones, esto implica atrasos e incluso la falta de entrega de los productos o servicios.

En tanto el mantenimiento preventivo, al contrario del anterior, se realiza con una periodicidad establecida dentro del plan de mantenimiento, con el fin de que la herramienta o el equipo que se esté tratando mantenga su funcionamiento y permita identificar las condiciones de sus elementos, para llevar a cabo otro tipo de mantenimiento en un futuro.

Por último, el mantenimiento predictivo “evalúa el estado de la maquinaria y recomienda intervenir o no, en función de su estado, lo cual produce grandes ahorros” (p. 17). A partir de las observaciones realizadas en el mantenimiento preventivo, se identifica los posibles fallos a los que los equipos estarían expuestos y plantea la solución antes de que estos se presenten, permitiendo planificar y evaluar soluciones para evitar colapsos.

Tomando en cuenta los tipos de mantenimiento anteriormente descritos, se observa como una solución más conveniente, el contar con un sistema de

mantenimiento el cual se considere la prevención de los fallos antes de que estos sucedan. También es importante considerar, que, aun teniendo un sistema de mantenimiento, los fallos pueden presentarse, por esta razón es importante considerar el mantenimiento correctivo dentro del plan.

7.2.6. Plan de mantenimiento

Según Mora (2009) “la principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo” (p. 3).

Para el desarrollo del plan de mantenimiento, se debe considerar todas las actividades necesarias, para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos, por tal motivo, es de vital importancia que el investigador identifique cada uno de los componentes, su funcionamiento y si hay evidencia de posibles fallos.

Este debe contar, como mínimo, con la identificación de los componentes de cada equipo y el tiempo de vida de estos, el funcionamiento de cada componente, la periodicidad con la que se deben realizar las actividades de mantenimiento según su tipo, las herramientas y suministros necesarios y las recomendaciones del investigador para contribuir con el cumplimiento del proceso que se establezca.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Estudios previos

1.2. Antecedentes

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales

2.1.1. Tipos de tratamiento

2.1.1.1. Primario

2.1.1.2. Secundario

2.1.1.3. Terciario

2.1.2. Componentes típicos

2.1.2.1. Canal de rejas

2.1.2.2. Vertedero de demasías

2.1.2.3. Sedimentador

2.1.2.4. Digestor

- 2.1.2.5. Filtro percolador
 - 2.1.2.6. Patio de secado
 - 2.2. Plan de operación y mantenimiento
 - 2.2.1. Plan de operaciones
 - 2.2.2. Estrategia de operaciones
 - 2.2.3. Seguridad ocupacional
 - 2.2.4. Mantenimiento
 - 2.2.5. Tipos de mantenimiento
 - 2.2.5.1. Correctivo
 - 2.2.5.2. Preventivo
 - 2.2.5.3. Predictivo
 - 2.2.6. Plan de mantenimiento
 - 2.3. Mandatos
 - 2.3.1. Código Municipal
 - 2.3.2. Acuerdo gubernativo 236-2006
 - 2.3.3. Acuerdo gubernativo 229-2014
 - 2.3.4. NRD2

3. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

- 3.1. Municipio
- 3.2. Generalidades
- 3.3. Ubicación y características de plantas de tratamiento
 - 3.3.1. Planta I
 - 3.3.1.1. Ubicación
 - 3.3.1.2. Descripción de las unidades de tratamiento
 - 3.3.1.3. Proceso de operación actual
 - 3.3.1.4. Condiciones
 - 3.3.2. Planta II

- 3.3.2.1. Ubicación
- 3.3.2.2. Descripción de las unidades de tratamiento
- 3.3.2.3. Proceso de operación actual
- 3.3.2.4. Condiciones
- 3.3.3. Planta III
 - 3.3.3.1. Ubicación
 - 3.3.3.2. Descripción de las unidades de tratamiento
 - 3.3.3.3. Proceso de operación actual
 - 3.3.3.4. Condiciones
- 3.3.4. Planta IV
 - 3.3.4.1. Ubicación
 - 3.3.4.2. Descripción de las unidades de tratamiento
 - 3.3.4.3. Proceso de operación actual
 - 3.3.4.4. Condiciones
- 3.3.5. Planta V
 - 3.3.5.1. Ubicación
 - 3.3.5.2. Descripción de las unidades de tratamiento
 - 3.3.5.3. Proceso de operación actual
 - 3.3.5.4. Condiciones
- 3.3.6. Planta VI
 - 3.3.6.1. Ubicación
 - 3.3.6.2. Descripción de las unidades de tratamiento
 - 3.3.6.3. Proceso de operación actual
 - 3.3.6.4. Condiciones

- 3.3.7. Planta VII
 - 3.3.7.1. Ubicación
 - 3.3.7.2. Descripción de las unidades de tratamiento
 - 3.3.7.3. Proceso de operación actual
 - 3.3.7.4. Condiciones

4. PRESENTACIÓN Y PROPUESTA DEL MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

- 4.1. Escenarios analizados
- 4.2. Esquema general del sistema
- 4.3. Personal necesario para la operación
- 4.4. Salud y seguridad ocupacional
- 4.5. Operación y Mantenimiento
- 4.6. Recomendaciones

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El Marco Metodológico engloba una serie de pasos, para exponer y examinar, el núcleo del problema propuesto. Por esta razón, se detallan las particularidades del proceso de investigación, que abarca la especificación del enfoque, el tipo de estudio, el alcance, las categorías de análisis, la descripción de las etapas; así como, las técnicas e instrumentos empleados para recolectar y analizar la información.

9.1. Características del estudio

La presente investigación es de tipo lógico inductivo, esta considera plantear las actividades a llevar a cabo, para la correcta operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, del municipio de Santa María Visitación, Sololá.

El alcance de esta investigación abarca tanto lo cualitativo exploratorio como lo cualitativo descriptivo, ya que no se realizarán pruebas de hipótesis, sino que se centrará en identificar las acciones necesarias para abordar la problemática analizada.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio, serán las plantas de tratamiento instaladas en el municipio de Santa María Visitación, de estas se debe identificar cada una por tipo de tratamiento, equipo y funcionamiento, de la cual se extraerán la información correspondiente a la operación y mantenimiento.

Tabla 1.*Categorías de análisis*

Categoría	Definición teórica	Definición operativa
Plan de Operación y Mantenimiento	Documento que establece las acciones y procedimientos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento y mantenimiento de un sistema o equipo.	Se medirá las actividades de operación y mantenimiento actuales a través de la observación de estas.
Plantas de tratamiento de aguas residuales	Instalaciones diseñadas para el tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de devolver el agua al medio ambiente con la menor carga contaminante posible.	Se medirá el funcionamiento de las plantas a través de la observación y realización de diagramas de funcionamiento según el tipo de tratamiento que de cada una.
Personal Operativo	Personal encargado de las actividades de operación de una entidad.	Se medirá el conocimiento del funcionamiento de las plantas a través de entrevistas.

Nota. Descripción de las categorías del análisis. Elaboración propia, realizado con Word.

9.3. Fases del estudio

Dado que la investigación tiene un enfoque cualitativo, se detallarán las distintas etapas del estudio, destacando las técnicas específicas que se emplearán y las actividades que se llevarán a cabo, para recopilar y analizar los datos e información pertinentes, en línea con los objetivos generales y específicos de la investigación. Esta descripción exhaustiva de las fases de estudio proporcionará una comprensión más clara, de cómo se llevará a cabo el

proceso de recolección y análisis de datos, y cómo se relaciona con los objetivos establecidos en la investigación.

9.3.1. Fase 1: revisión bibliográfica

En la primera fase se realizará una consulta de todas las bibliografías posibles relacionadas al tema, para enriquecer los conocimientos sobre los planes de operación, tipos de mantenimiento, funcionamiento de plantas de tratamiento, entre otros.

Al realizar esta revisión, se espera ampliar el criterio con conocimientos actualizados y fundamentados, que permitan profundizar en la comprensión de las prácticas, los conceptos y los desafíos asociados a las plantas de tratamiento. Además, este proceso permitirá identificar las mejores prácticas, los enfoques más efectivos y las lecciones aprendidas de investigaciones previas y experiencias prácticas en el campo, para poder atender la problemática que se estudia.

9.3.2. Fase 2: recolección de la información

La fase de recolección de datos de esta investigación comprenderá un proceso detallado, que abarcará tanto los levantamientos de cada una de las plantas de tratamiento, ubicadas en el municipio de Santa María Visitación, como las entrevistas con el personal operativo de dichas plantas. Este enfoque integral permitirá obtener una visión completa y enriquecedora de las operaciones y características de las plantas de tratamiento en cuestión.

En primer lugar, se llevarán a cabo levantamientos de campo, en cada una de las plantas de tratamiento del municipio. Estos levantamientos implicarán

visitas *in situ* a las instalaciones, donde se recopilará información detallada sobre la infraestructura, los equipos utilizados, los procesos de tratamiento, las medidas de seguridad, y cualquier otro aspecto relevante para la investigación. Durante estos levantamientos, se registrarán datos específicos y se tomarán fotografías para respaldar el análisis posterior.

Asimismo, se realizarán entrevistas al personal operativo de las plantas. Estas se llevarán a cabo, con el objetivo de obtener la información sobre las prácticas operativas actuales, los desafíos y las experiencias del personal encargado del funcionamiento diario de las plantas.

La información recopilada durante esta fase será fundamental para obtener datos concretos y valiosos sobre las plantas de tratamiento, del municipio de Santa María Visitación, y contribuirá a una comprensión más profunda de su funcionamiento, desafíos y posibles áreas de mejora.

9.3.3. Fase 3: análisis de información

Esta fase se centrará en el análisis e interpretación los datos obtenidos de los levantamientos realizados, en las plantas de tratamiento de Santa María Visitación, así como de las entrevistas al personal operativo.

Se emplearán técnicas y herramientas de análisis, como el agrupamiento de datos, la identificación de patrones y tendencias, y la extracción de temas clave. Este análisis permitirá obtener una comprensión profunda de las operaciones de las plantas, identificar áreas de mejora y generar conclusiones y recomendaciones basadas en la evidencia recopilada.

9.3.4. Fase 4: elaboración de los planes de operación y mantenimiento

La fase de elaboración de los planes se basará en el análisis de datos obtenidos en las etapas previas de la investigación. Con base en los hallazgos y conclusiones derivados del análisis de datos, se diseñarán planes detallados que abarcarán las actividades necesarias para mejorar las operaciones y el mantenimiento de las plantas de tratamiento. Esto incluirá la identificación de áreas de mejora, la definición de acciones correctivas y preventivas, la programación de tareas y la asignación de responsabilidades.

Los planes elaborados serán orientados a optimizar el funcionamiento de las plantas, garantizando una operación eficiente y sostenible a largo plazo.

9.3.5. Fase 5: propuesta de método de capacitación

En esta fase, con base en los planes propuestos en la fase anterior, se desarrollará una herramienta para capacitar al personal encargado de la operación y mantenimiento de forma clara y precisa.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Al tratarse de una investigación cualitativa, y con el fin de cumplir con los objetivos propuestos, las técnicas propuestas son las siguientes:

- Observación
- Entrevista
- Discusión de resultados

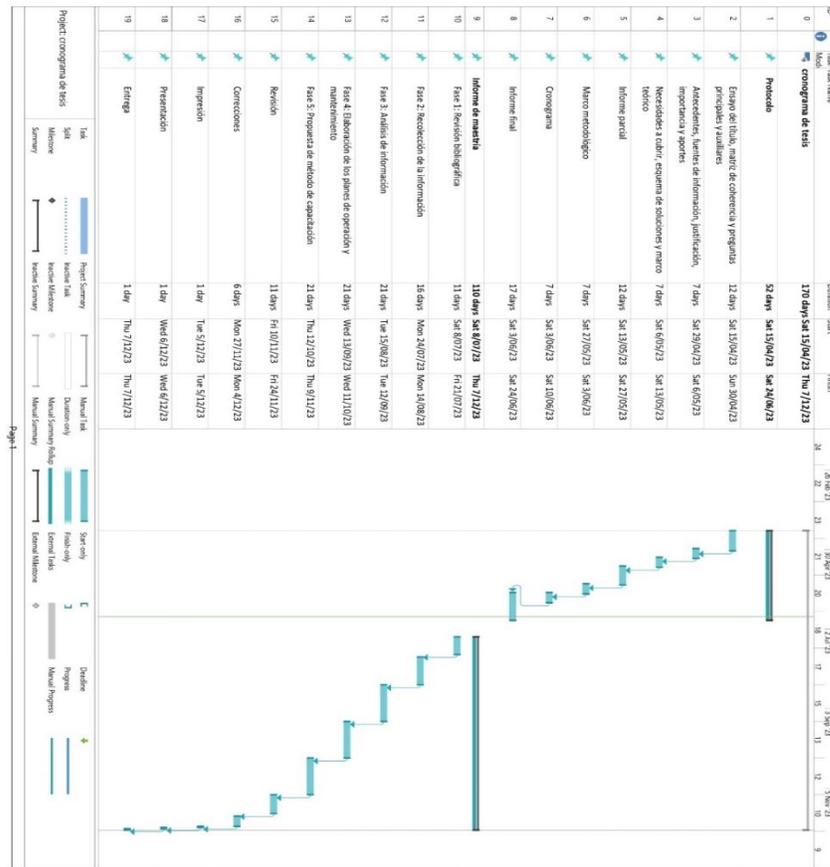
Las herramientas por utilizar serán:

- Hoja de recolección de datos: con estas se obtendrá la información general de cada planta de tratamiento (ubicación, accesos, horarios, entre otros), además se deberá realizar un diagrama del funcionamiento. La propuesta de esta se encuentra en el apéndice 1.
- Entrevista a operadores: serán preguntas relacionadas a las actividades operativas y de mantenimiento que se llevan a cabo actualmente en las plantas. Asimismo, se deberá evaluar el conocimiento de los componentes de la planta y sus mantenimientos mínimos.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 4.

Cronograma de actividades del proyecto de investigación



Nota. Cronograma con el tiempo de duración de las actividades de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizará con recursos propios del estudiante de maestría. Siendo la investigación descriptiva, se tendrán en cuenta los siguientes recursos:

Tabla 2.

Recursos necesarios para la investigación

Recurso	Costo
Dos resmas de hojas	Q. 100.00
Viáticos (combustible, hospedaje y alimentación)	Q. 3,000.00
Personal de apoyo en visitas	Q. 1,400.00
Tóner de impresora	Q. 500.00
Equipo de cómputo	Q. 1,500.00
Servicio de internet (8 meses)	Q. 2,000.00
Energía eléctrica (8 meses)	Q. 1,000.00
Asesoría	Q. 2,500.00
TOTAL	Q. 12,000.00

Nota. Presupuesto de los recursos necesarios utilizados durante la investigación. Elaboración propia, realizado con Word.

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

13. REFERENCIAS

- Allende, I. (2001). *Diseño hidráulico de plantas de tratamiento para aguas residuales*. UNAM.
- Anderson, J., Cleveland, G. y Schroeder, R. (1989). Operations Strategy: A Literature Review. *Journal of Operations Management*, 8(2), 133-158.
- Calo, L. Vasco, E. V. (2017). *Implementación de un plan de mantenimiento preventivo, para los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente al aeropuerto internacional Mariscal Sucre a cargo de la empresa Ingeniería y servicios ambientales ISA S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Archivo digital. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14748>
- Carvajal, C. (2020). *Modelo para comparar diseños de filtro percolador*. [Tesis de maestría, Escuela colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Archivo digital. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1445/Carvajal%20Fuentes%2C%20Carvajal%20Fuentes-2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Céspedes, D. (2019). *Tratamiento terciario de aguas residuales no domésticas empleando a chlorella sp. y conversión de la biomasa microbiana por pirólisis lenta*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Archivo digital. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/43200>

- Cilio, P. (2017). *Gestión e implementación del plan de mantenimiento de la planta de tratamiento del sistema regional de agua potable de Esmeraldas y sus zonas de influencia*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Archivo digital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17506>
- CONRED. (2019). *Manual de uso para la Norma de Reducción de desastres número dos -NRD2-*. CONRED.
- España, L. (2017). *Sistemas aerobios adheridos: filtros percoladores*. [Tesis de grado, Universidad del Valle]. Archivo digital. https://www.academia.edu/35127317/SISTEMAS_AEROBIOS_ADHERIDOS_FILTROS_PERCOLADORES
- Espinoza, R. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores*. [Tesis de maestría, Universidad de Piura]. Archivo digital. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1478/MAS_GAA_010.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Código Municipal. (2002). *Decreto 12-2002, Artículo 25*. Contraloría general de cuentas.
- Lorren, F. (2018). *Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales "El Indio" para la obtención de la autorización de reúso*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Archivo digital. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3458/TSP_ING_002.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mora, A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.

- Pardo, J. (2017). *Gestión por Procesos y Riesgo Operacional*. AENOR INTERNACIONAL, S.A.U.
- Robledo, F. (2014). *Riesgos Eléctricos y Mecánicos segunda edición*. Ecoediciones.
- Roca, L. (2020). *Manual de operación y mantenimiento de planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados en edificio de la zona 4 de la ciudad de Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional.
- Rojas, R. (del 25 al 27 de septiembre de 2002). Sistemas de tratamiento de aguas residuales [sesión de congreso]. *Curso Internacional de Gestión integral de las aguas residuales*. CEPIS/OPS-OMS. https://www.academia.edu/20296056/Sistema_de_tratamiento_de_aguas_residuales
- Romero, J. (2010). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rueda, C. (2022). *Diseño de un plan de medidas de control para operaciones de mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales tipo Imhoff*. UISEK.
- Municipalidad de Tejutla. (2021). *Sistema de tratamiento de aguas residuales desfogues de la cabecera municipal del municipio de Tejutla, San Marcos, ubicada en colonia Las Cruces, zona 3, Tejutla*. OMAS.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R. y Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. BID.

Velasco, J. (2017). *Manual de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ubillus*. [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional]. Archivo digital.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18963>

14. APÉNDICES

Apéndice 1.

Hoja de campo para toma de datos en plantas

 <p>ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO MAESTRIA: GESTIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO</p> <p>TESIS: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARIA VISITACIÓN, SOLOLÁ.</p> <p>HOJA DE CAMPO – TOMA DE DATOS PLANTAS DE TRATAMIENTO</p> <p>Nombre de la planta: _____</p> <p>Ubicación: _____</p> <p>Tipo de acceso: _____</p> <p>Tipo de tratamiento: _____</p> <p>¿Se encuentra operando? Si ___ No ___ (Si la respuesta es NO indicar el porqué)</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Horario de operación: _____</p> <p>Estado general de las instalaciones:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>

Nota. Ejemplo de hoja de campo utilizado para la toma de datos en plantas de tratamiento durante la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 2.

Modelo de entrevista a operadores



ESCUELA DE ESTUDIOS DE
POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMLA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRIA: GESTIÓN DE LA PLANIFICACIÓN PARA EL DESARROLLO

TESIS: DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO DE UN PLAN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA VISITACIÓN, SOLOLA.

ENTREVISTA A OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO

1. ¿Conoce las actividades que se realizan en las instalaciones de la planta?

2. ¿Identifica los siguientes elementos en las plantas de tratamiento?

- Elemento 1. Si ___ No ___
- Elemento 2. Si ___ No ___
- Elemento 3. Si ___ No ___
- Elemento n. Si ___ No ___

3. ¿Cada cuánto les hace mantenimiento a los siguientes elementos?:

- Elemento 1. _____
- Elemento 2. _____
- Elemento 3. _____
- Elemento n. _____

4. ¿Se realizan limpiezas periódicas a las instalaciones generales?

5. ¿Considera que las condiciones laborales son seguras?

Nota. Ejemplo de ficha de entrevistas a operadores de plantas de tratamiento. Elaboración propia, realizado con Excel.