



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería para el Desarrollo Municipal

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SAN
LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**

Ing. Eddie Alexander Vásquez García

Asesorado por el Msc. Ing. Reinaldo Heriberto García Guillermo

Guatemala, abril de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SAN
LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. EDDIE ALEXANDER VÁSQUEZ GARCÍA
ASESORADO POR EL MSC. ING. REINALDO HERIBERTO GARCÍA
GUILLERMO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO MUNICIPAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Córdoba Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Marvin Eduardo Mérida Cano
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:

**DETERMINACIÓN DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SAN
LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 12 de enero de 2022.



Ing. Eddie Alexander Vásquez García

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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**, presentado por: **Ing. Eddie Alexander Vásquez García**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería para el desarrollo municipal después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, abril de 2023

LNG.EEP.OI.386.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“DETERMINACIÓN DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ”

presentado por **Ing. Eddie Alexander Vásquez García** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería para el desarrollo municipal**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 8 de noviembre de 2022

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **DETERMINACIÓN DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ.** del estudiante **Eddie Alexander Vásquez García** quien se identifica con número de carné **201212978** del programa de Maestria En Ingenieria Para El Desarrollo Municipal.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014.* Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador
Maestria En Ingenieria Para El Desarrollo Municipal
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, 07 noviembre 2022.

Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor del trabajo de graduación del estudiante Eddie Alexander Vásquez García, Camé número 201212978, cuyo título es "**DETERMINACIÓN DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA LA PLANIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ**", para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería Para el Desarrollo Municipal he procedido a la revisión del INFORME FINAL y del ARTÍCULO.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Eddie Vásquez, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Reinaldo H. García Guillermo
Ing. Civil - MSc. Sanitaria
Céd. 3713

Ing. Reinaldo Heriberto García Guillermo
M.Sc., Ingeniería Sanitaria
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme alcanzar una meta más.
- Mis padres** Ilda García y Dimas Vásquez. Por guiarme en el camino de la vida y la formación académica, mi eterno agradecimiento por su apoyo y por ser un ejemplo de perseverancia.
- Mi esposa** Melissa Vicente. Por su ánimo y apoyo para lograr culminar una meta académica más.
- Mis hermanos** Dimas Vásquez (q. d. e. p.) e Hilda Vásquez. Por su apoyo incondicional desde el principio de mi vida académica.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el cimiento académico que me permitió enriquecerme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por ser el pilar fundamental y el cúmulo de conocimientos para mi formación académica.
Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez	Por colaborar con mi investigación incondicionalmente.
Mi asesor	Msc. Ing. Reinaldo Heriberto García Guillermo, por la paciencia y ser una guía importante para esta investigación.
Familia y amigos en general	

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
ANTECEDENTES.....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXIII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Caracterización de San Lucas Sacatepéquez	1
1.2. Ubicación geográfica y división administrativa	1
1.3. Población urbana y rural.....	2
1.4. Concentración y densidad poblacional	2
1.5. Topografía	3
1.6. Hidrografía.....	3
1.7. Condiciones sanitarias.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Planificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los municipios.....	5
2.1.1. Antecedentes.....	5
2.1.2. Situación actual en Guatemala.....	6
2.1.3. Compromisos ambientales	6

2.1.4.	Compromisos municipales	6
2.1.5.	Situaciones locales.....	7
2.2.	Sistemas de alcantarillado	7
2.2.1.	Tipos de sistemas de alcantarillado	8
2.2.1.1.	Alcantarillado sanitario	8
2.2.1.2.	Alcantarillado pluvial.....	8
2.2.1.3.	Alcantarillado mixto	8
2.2.2.	Puntos de descarga de aguas residuales	8
2.2.2.1.	Definición.....	9
2.2.2.2.	Características	9
2.2.2.3.	Requisitos.....	9
2.2.2.4.	Registro	10
2.2.2.5.	Ubicación y localización	10
2.3.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	10
2.3.1.	Selección de áreas.....	11
2.3.1.1.	Localización.....	11
2.3.1.2.	Ubicación.....	11
2.3.2.	Predios para un sistema de tratamiento de aguas residuales	11
2.3.2.1.	Requisitos físicos	12
2.3.2.2.	Propiedad legal del terreno	12
2.3.3.	Cuerpos receptores de aguas tratadas	12
2.3.3.1.	Escorrentía superficial.....	12
2.3.3.2.	Embalse natural, lagos y lagunas.....	13
2.3.3.3.	Agua subterránea.....	13
2.3.3.4.	Humedales y estuarios	13
2.3.3.5.	Esteros	14
2.3.4.	Proceso para la planificación de una planta de tratamiento de aguas residuales	14

2.3.4.1.	Caracterización del agua residual de las descargas.....	14
2.3.4.2.	Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales.....	16
2.3.4.3.	Diseño estructural.....	17
2.3.4.4.	Planificación.....	17
2.3.4.5.	Aprobación en Secretaría General de Planificación.....	19
2.3.4.6.	Solicitudes de avales Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.....	19
2.4.	Entes reguladores para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	20
2.4.1.	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.....	20
2.4.1.1.	Requisitos de construcción.....	20
2.4.2.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.....	21
2.4.2.1.	Requisitos de construcción.....	21
2.4.3.	Requisitos municipales para construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	21
2.5.	Legislación nacional e internacional.....	22
2.5.1.	Objetivos de desarrollo del milenio.....	22
2.5.2.	Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos.....	23
2.5.3.	Manual general del reglamento de las descargas y reúso de las aguas residuales y la disposición de lodos.....	23
2.5.4.	Reglamento orgánico interno del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.....	24

2.5.5.	Guía técnica para implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala, Instituto de Fomento Municipal.....	24
2.5.6.	Sistema de geoposicionamiento para aguas residuales	24
3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Tipo de estudio.....	27
3.2.	Fases del estudio	27
3.2.1.	Fase 1. Revisión bibliográfica.....	27
3.2.2.	Fase 2. Recolección de datos	28
3.2.2.1.	Verificación en campo de datos de gabinete.....	28
3.2.2.2.	Ubicación en campo de información inexistente en gabinete	28
3.2.2.3.	Identificación y ubicación geográfica de los puntos de descarga	29
3.2.2.4.	Identificación del efluente de aguas residuales	29
3.2.2.5.	Identificación de cuerpos receptores de descargas de aguas residuales	29
3.2.3.	Fase 3. Elaboración de planos y mapas	30
3.2.3.1.	Puntos de descarga	30
3.2.3.2.	Cuerpos receptores.....	30
3.2.3.3.	Interpolación de datos	31
3.2.4.	Fase 4. Análisis de ubicación de sistemas de tratamiento	31
3.2.4.1.	Estudio técnico Acuerdo Gubernativo 236-2006	32

3.2.4.2.	Determinación de predios dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas.....	32
3.2.4.3.	Presentación final de áreas estratégicas	33
3.3.	Técnicas de análisis	33
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	35
4.1.	Geoposicionamiento de alcantarillados sanitarios.....	35
4.1.1.	Sistemas de alcantarillado sanitario existentes	38
4.1.2.	Puntos de descarga existentes sin tratamiento	44
4.1.3.	Centros poblados sin alcantarillado sanitario.....	46
4.1.4.	Georreferenciación de puntos de descarga	52
4.2.	Geoposicionamiento de cuerpos receptores	54
4.2.1.	Hidrografía existente en el municipio.....	54
4.2.2.	Georreferenciación de cuerpos receptores.....	58
4.3.	Elaboración de planos y mapas finales	60
4.3.1.	Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 1	60
4.3.2.	Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 2.....	61
4.3.3.	Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 3.....	62
4.3.4.	Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 4.....	63
4.3.5.	Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 5.....	64
4.3.6.	Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 6.....	65

4.3.7.	Áreas estratégicas para la planificación de sistemas de tratamiento	66
4.4.	Análisis de áreas estratégicas en Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas.....	70
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	73
5.1.	Identificación de la ubicación de las descargas de aguas residuales de los sistemas de alcantarillado sanitario existentes y por construir en el municipio.....	73
5.2.	Identificación de los principales cuerpos receptores para las descargas de aguas residuales.....	76
5.3.	Definición de la interrelación de la ubicación de las descargas de aguas residuales con los cuerpos receptores del municipio.	78
CONCLUSIONES.....		83
RECOMENDACIONES		85
REFERENCIAS.....		87
APÉNDICES.....		91
ANEXOS.....		95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del municipio.....	2
2.	Planificación de sistemas de tratamiento	18
3.	Mapa de división administrativa de San Lucas Sacatepéquez.....	35
4.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales en San Lucas Sacatepéquez	37
5.	Sistemas de alcantarillado en zona 1 de San Lucas Sacatepéquez	38
6.	Sistemas de alcantarillado en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez	39
7.	Sistemas de alcantarillado en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez	40
8.	Sistemas de alcantarillado en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez	41
9.	Sistemas de alcantarillado en zona 5 de San Lucas Sacatepéquez	42
10.	Sistemas de alcantarillado en zona 6 de San Lucas Sacatepéquez	43
11.	Puntos de descarga sin tratamiento	45
12.	Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez	47
13.	Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez	48
14.	Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez	49
15.	Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 5 de San Lucas Sacatepéquez	50
16.	Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 6 de San Lucas Sacatepéquez	51
17.	Georreferenciación de puntos de descarga de aguas residuales	53

18.	Ríos existentes en zona 1 de San Lucas Sacatepéquez	54
19.	Ríos existentes en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez	55
20.	Ríos existentes en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez	56
21.	Ríos existentes en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez	57
22.	Hidrografía de San Lucas Sacatepéquez	59
23.	Áreas estratégicas en zona 1 de San Lucas Sacatepéquez.....	60
24.	Áreas estratégicas en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez.....	61
25.	Áreas estratégicas en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez.....	62
26.	Áreas estratégicas en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez.....	63
27.	Áreas estratégicas en zona 5 de San Lucas Sacatepéquez.....	64
28.	Áreas estratégicas en zona 6 de San Lucas Sacatepéquez.....	65
29.	Áreas para el establecimiento de sistemas de tratamiento.....	67
30.	Áreas protegidas en San Lucas Sacatepéquez	70

TABLAS

I.	Sistemas de tratamiento en San Lucas Sacatepéquez.....	36
II.	Puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento.....	44
III.	Ubicación de puntos de descarga de aguas residuales	52
IV.	Hidrografía de San Lucas Sacatepéquez.....	58
V.	Áreas estratégicas en zona 2.....	62
VI.	Áreas estratégicas en zona 3.....	63
VII.	Áreas estratégicas en zona 4.....	64
VIII.	Descripción de áreas estratégicas en zona 2	68
IX.	Descripción de áreas estratégicas en zona 3	68
X.	Descripción de áreas estratégicas en zona 4	69
XI.	Interrelación entre puntos de descarga y cuerpos receptores	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
@	A cada
AG	Acuerdo Gubernativo
AR	Aguas residuales
H	Altura
AT	Área total
Q	Caudal a sección llena
Q_{ilic}	Caudal de conexiones ilícitas
Q_{dis}	Caudal de diseño
Q_{inf}	Caudal de infiltración
Q_{dom}	Caudal domiciliar
Q_m	Caudal medio diario
QT	Caudal total
C	Coefficiente de escorrentía
CIF	Cota invert final
CII	Cota invert inicial
DH	Distancia horizontal
Est	Estación
E	Este
°	Grados
hrs	Horas
=	Igual que
Km	Kilómetro
l/hab/día	Litros por habitante día

l/s	Litros por segundo
>	Mayor que
<	Menor que
m	Metro
m³	Metro cúbico
m³/s	Metros cúbicos por segundo
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
N	Norte
O	Oeste
S%	Pendiente en porcentaje
‘	Pies o minutos
Po	Población inicial
Pf	Población final
%	Porcentaje
PV	Pozo de visita
“	Pulgadas o segundos
S	Sur
r	Tasa de crecimiento poblacional

GLOSARIO

Aeróbico	Proceso de respiración de microorganismos con presencia de oxígeno.
Agua domiciliar	Aguas residuales que se producen en viviendas edificios públicos, entre otros.
Aguas pluviales	Aguas provenientes de la lluvia que se desfogan en un alcantarillado para su evacuación.
Aguas servidas	Aguas que se descargan al drenaje, luego de haber prestado su servicio.
Alcantarillado	Sistema construido por debajo de la subrasante con el objetivo de evacuar aguas servidas y pluviales.
Altimetría	Procedimiento topográfico para determinar diferencias de nivel existente entre puntos diferentes.
Anaeróbico	Proceso de respiración de microorganismos sin presencia de oxígeno.
Área tributaria	Área de influencia que tributa sus aguas hacia un mismo punto de desfogue.

Candela	Depósito que recibe las aguas residuales de un predio, puede ser una caja o un diámetro.
Caudal	Volumen de agua sobre unidad de tiempo.
Colector	Tuberías por las que se conduce el agua residual, deben llenar requisitos y criterios de algunas normas.
Colindancia	Contigua, el más próximo.
Coloidal	Nombre asignado a sustancias que tienen apariencia de la cola de gelatina.
Cota invert	Cota o altura de la parte inferior interior del tubo instalado a nivel del terreno natural.
Demografía	Es el estudio de la dimensión, estructura, evolución y características generales de las poblaciones.
Desfogue	Lugar de disposición de las aguas residuales o pluviales.
Dotación	Cantidad de agua asignada por persona por unidad de tiempo.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal.

INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.
Período de diseño	Tiempo en que un sistema prestará servicio eficiente.
Proyección UTM	Proyección universal transversal de Mercator
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
PVC	Policarbonato de vinilo
Sedimentación	Proceso en el que los componentes más densos de una solución se depositan en el fondo de un recipiente.
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
SIGEGAR	Sistema General de Entes Generadores de Aguas Residuales.
SNIP	Sistema Nacional de Inversión Pública.

RESUMEN

San Lucas Sacatepéquez es uno de los municipios cercanos a la ciudad capital, por lo que, tiene un ritmo de crecimiento demográfico acelerado que aumenta la necesidad de acceso a los servicios básicos municipales necesarios para el diario vivir. En este sentido la necesidad de servicios de agua y saneamiento aumentan a medida que el tiempo para el cumplimiento del saneamiento ambiental que establece la legislación nacional disminuye.

El Acuerdo Gubernativo 236-2006, estableció para los gobiernos locales una fecha límite para el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales, cuyo tiempo se amplió en el Acuerdo Gubernativo 58-2019 que es una reforma al anterior.

En la presente investigación se realizó la verificación de todos los sistemas de alcantarillado sanitario existentes en el municipio con su respectivo punto de descarga y verificar cuáles ingresan a un sistema de tratamiento para su disposición final, así mismo, se evaluaron los centros poblados que no tienen servicio de alcantarillado para tomarlos en cuenta en el establecimiento de plantas de tratamiento. Se identificaron los cuerpos receptores de aguas residuales para poder realizar una interpolación de información y determinar las áreas estratégicas para el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el municipio con el fin de darle un adecuado tratamiento a todas las descargas existentes y futuras. Se determinaron un total de 16 áreas donde se deben planificar plantas de tratamiento de aguas residuales para poder tener controladas todas las descargas de los alcantarillados sanitarios de San Lucas Sacatepéquez.

ANTECEDENTES

La investigación realizada sobre un *Modelo de gestión para la prestación del servicio de alcantarillado sanitario a nivel municipal, conceptualizando este servicio como público y de competencia municipal de acuerdo con la legislación nacional vigente y aplicable al tema*. Esta investigación tiene el propósito de proporcionar a los municipios que están conformados dentro de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, un modelo de gestión donde se podrán proponer acciones y procedimientos alineados al cumplimiento de las competencias principales de acuerdo con el Código Municipal, satisfaciendo así, la necesidad de protección y preservación del ambiente (Cotuc, 2017). En su tesis realizada en la Maestría de Ingeniería para el desarrollo municipal en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En la misma línea, la investigación del *Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del proceso de lavado de vehículos en un car wash* propuesta del manejo, tratamiento y potencial para reúso de las aguas residuales provenientes del proceso de lavado de vehículos en un car wash. Tiene como objetivo realizar un diagnóstico técnico de naturaleza operativa y ambiental para darle el tratamiento adecuado a las aguas residuales que provengan del lavado de vehículos; “concluyendo que las aguas provenientes de estos procesos están por encima de los valores permitidos para verter al medio por lo que se recomienda establecer un tratamiento para dichas aguas” (Aguilar, 2019, p.19).

Así mismo la Municipalidad de Guatemala en el 2020, en su plan Caracterización de Descargas del Municipio de Guatemala, indica el estudio de

la caracterización física de todas las descargas residuales en el municipio de Guatemala, para determinar un plan de saneamiento de la ciudad. En esta caracterización se realiza un catastro de todos los alcantarillados dentro de la jurisdicción de la ciudad capital, así mismo los puntos de descarga de cada uno de estos; elaborando con esta información mapas donde indican todos los atributos de dichos sistemas y que sirva para la toma de decisiones futuras.

Otras instituciones como el Instituto de Fomento Municipal en el 2011, en su Reglamento de Descargas Residuales en la Cuenca del Lago de Atitlán, indica las disposiciones generales y aspectos técnicos fisicoquímicos para la descarga de aguas en la Cuenca del Lago de Atitlán. Actualmente todas las municipalidades que desembocan sus aguas en el lago se apegan a este documento para mantener el equilibrio entre las descargas residuales.

También el MARN, (2020) en su *Plan de Fortalecimiento Municipal Para el Manejo y Tratamiento de las Aguas Residuales, en el Área del Caribe de Guatemala, promueve la información y sensibilización de las municipalidades de las áreas de influencia del Caribe*. Da a conocer la relevancia de incluir en de sus planes municipales la planificación de plantas de tratamiento en su jurisprudencia.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Contexto general

San Lucas Sacatepéquez es un municipio del departamento de Sacatepéquez, ubicado en la cuenca hidrográfica María Linda, y tributa todas sus aguas de escorrentía superficial hacia el Río Villalobos, siendo este un cuerpo de agua receptor de diferentes vertientes, tanto de aguas residuales como pluviales. En mayo de 2006, El Congreso de la República de Guatemala crea el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, en donde se establece el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos para establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reúso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos; por tal razón, las municipalidades se han dado a la tarea de llevar a cabo proyectos de saneamiento ambiental para darle el tratamiento adecuado a las aguas residuales, como lo son alcantarillados sanitarios y sus respectivas plantas de tratamiento.

Descripción del problema

Actualmente San Lucas Sacatepéquez ejecuta aproximadamente una planta de tratamiento de aguas residuales por año, y la mayoría de sus proyectos se enfocan en la construcción de nuevos sistemas de alcantarillado sanitario y el mejoramiento de estos, sustituye tubería de concreto por la de PVC. En cuanto a la construcción de plantas de tratamiento se ejecutan en predios municipales existentes, no obstante, la ubicación de estas no es la más adecuada en algunos casos.

El problema actual del municipio, en cuanto al tema, radica en que no se cuenta con información sobre la ubicación de las descargas de aguas residuales del municipio, es decir, que desconocen la ubicación de los puntos de descarga de algunos sistemas de alcantarillado sanitario y su respectivo caudal, lo que ocasiona que no se tenga un control sistemático para llevar todas las aguas residuales de diferentes sistemas hacia una planta de tratamiento.

Formulación del problema

Existen casos, como el de la planta de tratamiento Montezuma y Callejón Los Jorges, donde el sistema de alcantarillado sanitario tiene dos desembocaduras, por el tema de las pendientes, en este caso, solamente una salida de aguas residuales se conecta a la planta de tratamiento mientras que la otra sigue tributando hacia la cuenca sin su respectivo tratamiento. La planta de tratamiento se ubicó en la parte más baja del terreno municipal existente, el cual no concuerda con el punto más bajo de la cuenca, por lo que la otra salida del alcantarillado sanitario no se conectó en esta planta.

Otro estudio de caso que se encontró, fue que en esta misma planta solamente se diseñó para la Lotificación Montezuma y para los vecinos del callejón Los Jorges, al momento de dirigir las aguas de este callejón se encontraron otros sistemas de alcantarillado sanitario en el tramo intermedio que desembocan directamente en el suelo y corre superficialmente hacia el río; el problema radica en que no se tiene mapeado la ubicación de todos los drenajes existentes en el municipio y su respectivo punto de descarga.

Delimitación del problema

Por lo anteriormente mencionado, surge la pregunta principal sobre ¿Cuáles serán las áreas estratégicas para la adecuada planificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en San Lucas Sacatepéquez?, encerrando un contexto global sobre la problemática, y específicamente se generan las siguientes preguntas secundarias:

- ¿Cuál es la ubicación de las descargas de aguas residuales de los sistemas de alcantarillado sanitario existentes y por construir en el municipio?
- ¿Cuáles son los principales cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales?
- ¿Cómo se interrelaciona la ubicación de las descargas de aguas residuales con los cuerpos receptores del municipio?

OBJETIVOS

General

Definir las áreas estratégicas adecuadas para la planificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en San Lucas Sacatepéquez.

Específicos

1. Identificar la ubicación de las descargas de aguas residuales de los sistemas de alcantarillado sanitario existentes y por construir en el municipio.
2. Identificar los principales cuerpos receptores para las descargas de aguas residuales.
3. Definir la interrelación de la ubicación de las descargas de aguas residuales con los cuerpos receptores del municipio.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación fue del tipo cualitativa-descriptiva, y consideró evaluar las áreas estratégicas para la ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, luego de evaluar la topografía del municipio, los cuerpos receptores y los puntos de descarga de los sistemas de alcantarillado sanitario existentes.

La fase 1 fue una revisión bibliográfica donde se llevó a cabo la exploración de todos los temas relacionados al tema de estudio y cada una de sus divisiones, se revisaron las bibliografías que estaban relacionadas con la investigación e hicieron más eficiente la metodología para determinar los puntos óptimos para la planificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Con esta información se amplió el panorama sobre los parámetros y requisitos que influyeron en la determinación de las áreas estratégicas para la ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La fase 2 fue la recolección de datos que consistió en la verificación en campo de los datos que estaban registrados en la base de datos de la Dirección Municipal de Planificación, seguidamente, el levantamiento en campo de la información inexistente. Ambas actividades fueron georreferenciadas tomando coordenadas geográficas con dispositivo GPS, se incluyó latitud, longitud y altitud; seguidamente, se identificaron los efluentes ubicados en el municipio con sus respectivas características físicas y geográficas. Por último, se identificaron los cuerpos receptores hacia donde se descargan los efluentes ubicados.

La fase 3 fue la elaboración de planos y mapas, donde se utilizó la información de la georreferenciación de los puntos de descarga para ingresarlos

en hojas de cálculo y generara la base de datos de acuerdo con sus ubicaciones y áreas tributarias, luego se ingresaron en ArcGis donde se crearon capas con los puntos de descarga por cada zona dentro del municipio. En segundo punto se georreferenciaron los cuerpos receptores de aguas residuales que están ingresados en hojas de cálculo que conforman la base de datos y también se ingresaron en ArcGis para los mapas que se crearon en dicho programa.

Luego se generó una interpolación con los puntos de descarga y los cuerpos receptores sobre hojas cartográficas y ortofotos, donde se obtuvo la información sobre los puntos de descarga que tienen un cuerpo receptor en común y poder llevar todas las aguas servidas hacia un mismo punto y por consiguiente se determinó la ubicación de áreas estratégicas para la planificación de los sistemas de tratamiento.

En la fase 4 se realizó el análisis de la ubicación de sistemas de tratamiento a través de mapas cartográficos que incluyeron los cuerpos receptores y los puntos de descarga de los alcantarillados sanitarios existentes, tomando en cuenta las indicaciones del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus reformas, Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos, así mismo, se tomaron en cuenta los criterios de evaluación del Consejo Nacional de Áreas Protegidas. Se realizó un cuadro descriptivo de cada punto de acuerdo con el Artículo 6 del reglamento. Finalmente se procedió a la determinación de la factibilidad de los predios en relación con la metodología del SIGAP, y la presentación final de las áreas estratégicas siguiendo variables de concentración de aguas, topografía, cuerpos receptores y viabilidad en el SIGAP.

Las técnicas de análisis se basan en cuadros de datos georreferenciados de puntos de descargas y cuerpos receptores, mapas cartográficos realizados en sistemas de información geográficas y softwares de elaboración de planos.

INTRODUCCIÓN

Unos de los retos actuales para los gobiernos locales, es el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006, el cual se publicó el 05 de mayo de 2006; el Acuerdo Gubernativo fija una fecha, a los gobiernos locales, para cumplir con parámetros que deben tener las aguas residuales que sean descargadas en diferentes cuerpos receptores, por lo que, las municipalidades se encuentran planificando y ejecutando sistemas de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos solicitados en el tiempo establecido. En San Lucas Sacatepéquez el problema radica en que no se tiene el registro de ubicación de todos los sistemas de alcantarillado sanitario y sus respectivos puntos de descarga, por tal razón cuando ejecutan plantas de tratamiento existen alcantarillados que no han sido tomados en cuenta y corren el riesgo que no se conecten a la planta y si se conectan sobrepasan el diseño del caudal.

Se realizó un inventario de todos los sistemas de alcantarillado sanitario existente y de los que faltan por ejecutar, se ubicaron en áreas tributarias, direcciones de flujo y su respectivo punto de descarga, así mismo, los cuerpos hídricos receptores existentes y se ubicó ambos resultados en hojas cartográficas y ortofotos en un Sistema de Información Geográfica determinando las áreas estratégicas para que la Dirección Municipal de Planificación pueda planificar los sistemas de tratamiento de aguas residuales y darle saneamiento a todas las descargas.

Los resultados de la investigación apuntan a la determinación de áreas óptimas para la ubicación y localización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el municipio, se obtuvo una base de datos de todos los sistemas

de alcantarillado sanitario y sus respectivos puntos de descarga y de los cuerpos receptores existentes. La información se tiene disponible en base de datos, mapas cartográficos con fotografías aéreas.

El método de trabajo se basó en la recopilación de la información existente en la Dirección Municipal de Planificación sobre los sistemas de alcantarillado sanitario, en cuanto a la ubicación de cada uno y su punto de descarga; seguidamente se procedió a la verificación de la información en campo y la toma de coordenadas geográficas de estos y de los sistemas que no se tenía ningún registro. Seguidamente, se procedió a realizar las bases de datos de los puntos de descarga y los cuerpos receptores existentes para posteriormente ingresarlos en el software ArcGis y poder realizar el análisis con hojas cartográficas y ortofotos. Finalmente se realizó la interpolación de los datos obtenidos entre puntos de descarga y cuerpos receptores y se elaboraron mapas con los puntos estratégicos para la planificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

El presente documento está conformado por cinco capítulos, el primero se basa en los aspectos generales referenciales del municipio, condiciones fisiográficas que dieron sustento a la investigación. El segundo es el cimiento teórico para establecer los criterios en la determinación de las áreas estratégicas; el tercero indica la metodología que se siguió para poder tener un orden y control en la información para poder llegar a los resultados deseados; el cuarto capítulo representa los resultados obtenidos de la investigación y la recolección de datos en gabinete y en campo de la información necesaria para proceder al análisis; y finalmente, el quinto capítulo discute los resultados obtenidos del capítulo tres, para poder justificar las decisiones tomadas para el mejoramiento del servicio en el municipio.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Caracterización de San Lucas Sacatepéquez

San Lucas Sacatepéquez se localiza alrededor del km. 29 de la ruta interamericana, caracterizado por poseer un clima frío templado en su mayor parte del año, con temperaturas que oscilan en el rango de 3° como mínima, hasta una máxima de 25°. Su topografía es irregular, por su ubicación en un complejo montañoso periférico de la Altiplanicie Central, sin embargo, su casco urbano se encuentra en un valle rodeado de la cordillera del Cerro Alux. (Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, 2020)

1.2. Ubicación geográfica y división administrativa

Se localiza en la región central del país, región V, ubicado a una distancia de 29.0 km desde el centro de la ciudad capital y a 15.0 km desde la cabecera departamental. Se ubica en las coordenadas 14°36'29" altitud norte y 90°39'32" longitud oeste. (Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, 2020)

La monografía de San Lucas Sacatepéquez (2019) indica que “San Lucas Sacatepéquez colinda al norte con Santiago (Sac); y Mixco (Gua); al sur con Santa Lucía Milpas Altas (Sac), y Villa Nueva (Gua); al este con Mixco (Gua); al oeste con San Bartolomé Milpas Altas Sacatepéquez” (p.16). De acuerdo con la Secretaría General de Planificación [SEGEPLAN] (2009), el municipio está constituido por 6 zonas, siendo la zona 1 el casco urbano, 4 aldeas y 6 caseríos.

Figura 1. **Ubicación del municipio**



Fuente: Ministerio de Gobernación (2016). *Política Pública Municipal para la Prevención de la Violencia y el Delito de San Lucas Sacatepéquez.*

1.3. **Población urbana y rural**

De acuerdo con el censo poblacional y de habitación en Guatemala llevado a cabo por el Instituto Nacional de Estadística (2018), el 89 % de la población del municipio pertenece al área urbana, concentrada en la zona 1 y 2, en su mayoría, mientras que el 11 % restante pertenece al área rural, que se encuentran en las zonas 3, 4, 5 y 6 del municipio.

1.4. **Concentración y densidad poblacional**

Según el censo poblacional y de habitación en Guatemala, llevado por el INE (2018), San Lucas Sacatepéquez posee una población de 23,369 habitantes, con su respectiva densidad poblacional de 954 hab/km². Contabilizando un total de 5,937 hogares se obtuvo una densidad poblacional de 3.94 habitantes por hogar.

1.5. Topografía

El municipio se encuentra a una altitud de 1,900 msnm, con una extensión territorial de 25 km², algunas áreas tienen inclinaciones con pendientes mayores al 30 %. Su topografía es irregular, debido a que se encuentra en la periferia de la Altiplanicie Central. (Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, 2020)

1.6. Hidrografía

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal (2010) San Lucas Sacatepéquez se encuentra dividido en el territorio de dos cuencas hidrográficas, la del río Achiguate y la del río María Linda, ambas drenan hacia la Vertiente del Pacífico. En su hidrografía se encuentran los ríos Chichorín, Chiteco, Choacorrall, La Embaulada, Las Vigas y San José, Chilayón, Chipablo, Chique, El Astillero, El Perol, La Ciénaga, La Esperanza, La Ruca y Parrameños. (SEGEPLAN, 2009)

1.7. Condiciones sanitarias

El municipio tiene alcantarillados sanitarios en la mayoría de sus zonas y comunidades, en las zonas 1, 2 y 4, poseen alcantarillados sanitarios y plantas de tratamiento, en estas zonas se concentra la mayoría de la sociedad; sin embargo, una parte de esta, que se distribuyen en las zonas 3, 5 y 6, carecen de alcantarillados sanitarios y tratamiento de las aguas residuales. Actualmente cuenta con 7 plantas, y está en ejecución una en la zona 2, y tienen planificado ejecutar dos más para el año 2023.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Planificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en los municipios

A continuación, se presentan algunos antecedentes que tienen relación con este trabajo de investigación.

2.1.1. Antecedentes

Alrededor del año 2004, en un sondeo realizado en América Latina, se estimó que, de un total de 20 países, el tratamiento que se le daba a las aguas residuales recolectadas mediante sistemas de alcantarillado sanitario alcanzaba el 28 % del volumen total; Guatemala era uno de los países con el menor nivel de tratamiento. (Letini, 2010, p.13)

SEGEPLAN (2006) indica que “Se estima que en la actualidad en Guatemala se trata el 5 % de las aguas residuales recolectadas y el resto se descarga a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento” (p. 13). A partir de esta información y de la deplorable condición ambiental en que se encontraba el país, el Gobierno de Guatemala, mediante las diligencias del MARN, decretó el Acuerdo Gubernativo 236-2006, los cuales regulan las actividades para las descargas de diferentes entidades, tanto estatales como privadas.

2.1.2. Situación actual en Guatemala

El país posee 38 cuencas hidrográficas, las cuales drenan hacia diferentes vertientes o lagos, del total de las aguas superficiales alrededor del 90 % se encuentran contaminadas, ya sea por desechos industriales o domésticos. (Escuela de Biología, USAC, 2016) Una de las razones es la carencia de sistemas de tratamiento.

Actualmente en Guatemala, las municipalidades se encuentran en un período de planificación y ejecución de sistemas de tratamiento para poder cumplir con compromisos ambientales que poseen.

Con el tiempo se han hecho diferentes reformas al Acuerdo Gubernativo 236-2006, a fin de volver más eficientes los procedimientos solicitados, actualmente la última reforma realizada corresponde al Acuerdo Gubernativo 59-2019.

2.1.3. Compromisos ambientales

El MARN, estableció metas con relación al saneamiento ambiental del país, adquiriendo compromisos ambientales en relación con el volumen de las descargas residuales. Para el año 2023 estableció que el 60 % de las descargas deben pasar por un sistema de tratamiento que cumpla con los límites máximo-permisibles del Artículo 24 y para el año 2027 el 40 % restante.

2.1.4. Compromisos municipales

El MARN, con el objetivo de cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible, estableció metas con relación al saneamiento ambiental, adquirió compromisos

ambientales en relación con el volumen de descarga residual. Para el año 2023 estableció que el 60 % de las descargas deben pasar por un tratamiento que cumpla con los límites permisibles del Artículo 24. Y para el 2027 el 40 % restante. (Acuerdo Gubernativo 58/2019, Art. 24, 2019)

2.1.5. Situaciones locales

El Acuerdo Gubernativo 236-2006, en su emisión establecía los compromisos para las autoridades locales, tanto en parámetros de saneamiento como en tiempos para cumplir los objetivos; la mayoría de los alcaldes mostraron sus inconformidades al ministro del MARN, con el objetivo de ampliar los tiempos solicitados, por tal razón en abril de 2019, se aprobaron las reformas al Acuerdo Gubernativo, se establece el AG 58-2019, determinando para los gobiernos locales los siguientes compromisos.

En el Artículo 24 bis, se establecen los límites máximos permisibles de descargas para aguas residuales municipales, así como la fecha de cumplimiento, donde se establece que para el 2013 se debe dar tratamiento al 60 % de las aguas residuales municipales, completando el 40 % restante para el 2027. (Acuerdo Gubernativo 58/2019, 2019)

2.2. Sistemas de alcantarillado

A continuación, se presentan los tipos de sistemas de alcantarillado que existen.

2.2.1. Tipos de sistemas de alcantarillado

La clasificación de los sistemas se deriva de acuerdo con el origen y tipo de aguas que conducen.

2.2.1.1. Alcantarillado sanitario

“Es la red generalmente de tuberías, a través de la cual se deben evacuar en forma rápida y segura las aguas residuales municipales (domésticas o de establecimientos comerciales) hacia una planta de tratamiento y finalmente a un sitio de vertido” (SIAPA, 2014, p. 2).

2.2.1.2. Alcantarillado pluvial

“Es el sistema que capta y conduce las aguas de lluvia para su disposición final, que puede ser por infiltración, almacenamiento o depósitos y cauces naturales” (SIAPA, 2014, p.2).

2.2.1.3. Alcantarillado mixto

“Es el sistema que capta y conduce simultáneamente el 100 % de las aguas de los sistemas mencionados anteriormente, pero que dada su disposición dificulta su tratamiento posterior y causa serios problemas de contaminación al verterse en cauces naturales” (SIAPA, 2014, p.2).

2.2.2. Puntos de descarga de aguas residuales

A continuación, se presentan los puntos de descarga de aguas residuales.

2.2.2.1. Definición

“Es el sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales” (Acuerdo Gubernativo 236/2006, Art. 4, 2006).

2.2.2.2. Características

La disposición final residual se puede realizar de diferentes formas, para complementar los procesos naturales y pasar por una planta de tratamiento. Los vertidos pueden ser en corrientes superficiales, como ríos y embalses naturales, así mismo, se puede realizar en terrenos. (SIAPA, 2014)

2.2.2.3. Requisitos

La información por tomar en cuenta para la selección de los sitios de vertido se basa principalmente en características topográficas y edáficas, siendo estas las siguientes:

- Mínimo y máximo del gasto de aguas grises de un recolector
- Tipología del suelo
- Permeabilidad del suelo y su factibilidad de drenaje
- Profundidad de nivel freático
- Topografía relacionada al emisor de la descarga

El punto final debe tener un recubrimiento mínimo de 60 cm sobre la tubería. (SIAPA, 2014)

2.2.2.4. Registro

La mayoría de las municipalidades del país, no poseen una plataforma propia en donde tengan identificados todos los puntos de descarga existentes dentro de su municipio, sin embargo, en el caso de la Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, tiene registrados algunos sistemas de alcantarillado en AutoCad, referenciados de acuerdo con un plano general del municipio, pero carecen de coordenadas geográficas.

En el presente año el MARN genera el Acuerdo Ministerial 37-2021, en donde se crea el Sistema General de Entes Generadores de Aguas Residuales [SIGEGAR], para que los responsables de descargas residuales puedan generar una base de datos de todas las descargas. (AM 37/2021, 2021)

2.2.2.5. Ubicación y localización

Cuando se diseñan los sistemas, para que este funcione por gravedad, la dirección del flujo se debe buscar desde el punto más alto hacia el más bajo, por lo que, generalmente las descargas van ubicadas en la parte más baja de las áreas tributarias del recolector. Por otra parte, debido a la necesidad del tratamiento, las descargas deben ubicarse en un predio municipal donde se planifique el sistema de tratamiento a realizar, dicho predio debe estar cercano a un cuerpo receptor. (Martínez, 2011)

2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

“Cualquier proceso físico, químico, biológico o una combinación de estos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales” (Acuerdo Gubernativo 236/2006, Art. 4, 2006).

2.3.1. Selección de áreas

A continuación, se presenta la selección de áreas, en donde se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos.

2.3.1.1. Localización

Los sistemas de tratamiento se deben localizar, sin excepción alguna, en propiedades municipales, estas propiedades municipales deben estar previas a un cuerpo receptor, que por lo general va en la parte más baja del área tributaria (Acuerdo Gubernativo 236/2006, Art. 6, 2006).

2.3.1.2. Ubicación

No existe requisito alguno para la ubicación de las plantas de tratamiento dentro de un terreno municipal, sin embargo, durante la planificación del sistema el profesional ubicará los componentes de este de acuerdo con su criterio y diseño.

2.3.2. Predios para un sistema de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se presentan los predios para un sistema de tratamiento de aguas residuales, en donde se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos.

2.3.2.1. Requisitos físicos

Los predios pueden tener una topografía plana o quebrada, en el primer caso la planificación debe incluir un sistema de bombeo para generar el flujo en la planta; en el segundo caso, el más ideal, el flujo de la planta se hará por gravedad. No existe alguna limitante en el terreno para la ejecución de la planta, más que criterios económicos.

2.3.2.2. Propiedad legal del terreno

Para las plantas de tratamiento municipales, estas se pueden planificar únicamente en terrenos municipales que estén debidamente escriturados a favor de la municipalidad en el Registro de la Propiedad. Cuando las comunidades tienen un terreno para una planta de tratamiento deben realizar un proceso legal en donde el terreno pasa a nombre de la municipalidad mediante una donación.

2.3.3. Cuerpos receptores de aguas tratadas

“Embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales” (Acuerdo Gubernativo 236/2006, Art. 4, 2006).

2.3.3.1. Escorrentía superficial

Precipitación que sobre la superficie del terreno discurre por acción de la gravedad, sin infiltrarse en el suelo. (Lagua, 2020)

2.3.3.2. Embalse natural, lagos y lagunas

El embalse natural es un depósito que tiene la función de la recolección de aguas que corren ciertos tramos y llegan a un punto final.

Los lagos hacen referencia a grandes cuerpos de agua dulce que están rodeados de suelo firme. Mientras que las lagunas son cuerpos mucho más pequeños, en relación con los lagos. (Enelgreen Power, 2021)

2.3.3.3. Agua subterránea

El agua subterránea “es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser recolectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales” (Ordoñez, 2011, p. 9).

2.3.3.4. Humedales y estuarios

“Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él. Los humedales se dan donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca” (Ramsar, 2007, p. 1).

“Un estuario es una masa de agua superficial próxima a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salidas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce” (Ibáñez et al, 2009, p. 7).

2.3.3.5. Esteros

El estero “es un cuerpo de agua formado en un canal natural o en antiguos brazos de un delta de río actualmente cerrado. En sus aguas se alternan períodos de estancamiento y de circulación” (Cervantes, 1994, p. 39).

2.3.4. Proceso para la planificación de una planta de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se presenta el proceso para la planificación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

2.3.4.1. Caracterización del agua residual de las descargas

Pérez (2006) indica que previo al diseño sanitario y estructural de una PTAR, el especialista en la materia realiza una caracterización del agua que permite conocer la composición química y biológica de estas, proporciona los datos necesarios para su diseño y manejo. Las clasificaciones de las aguas residuales se pueden definir de la siguiente forma:

A. Agua residual

- Líquidos efluentes provenientes de actividades agrícolas y ganaderas
- Líquidos provenientes de establecimientos industriales
- Líquidos provenientes de desagües de viviendas, edificios y comercios

B. Composición

- Residuos sólidos
- Concentración de materia orgánica
- DBO₅

- DQO
- pH

El Acuerdo Gubernativo 236/2006, Art. 16, (2006) determina que se deben medir para definir y determinar las características, son las siguientes.

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

2.3.4.2. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales

El Instituto de Fomento Municipal (2020) da a conocer su Guía técnica para implementar PTAR en Guatemala, en donde indica que los pasos generales para diseñar una PTAR son los siguientes:

- **Pretratamiento**

Es una fase en donde el objetivo es remover el material voluminoso que puede llegar, como basuras, hojas, ramas, material flotante y otros desechos sólidos. Por lo general se conforma por una reja, un canal desarenador y una trampa de grasas.

- **Tratamiento primario**

Es la fase donde se remueven los sólidos que van en el agua, esencialmente es un proceso de sedimentación y se logra mediante el paso lento del agua durante un tiempo suficiente para que los sólidos sedimenten.

- **Tratamiento secundario**

Fase en la que se busca la remoción de la materia orgánica disuelta en las aguas, y se obtiene cuando se logra un ambiente propicio donde las bacterias se pueden alimentar de dicha materia. Es un proceso con microorganismos y puede ser anaeróbico o aeróbico.

- Tratamiento terciario

Su objetivo es la remoción de los nutrientes, diferentes substancias químicas que se encuentran en el agua, y se alcanza la calidad para obtener un reúso del agua.

- Tratamiento de lodos

Es el tratamiento específico de los sólidos que contienen hasta un 80 % de agua, siendo un proceso de tiempo y temperatura donde se eliminan organismos patógenos, incluye patios de secado y espesadores.

2.3.4.3. Diseño estructural

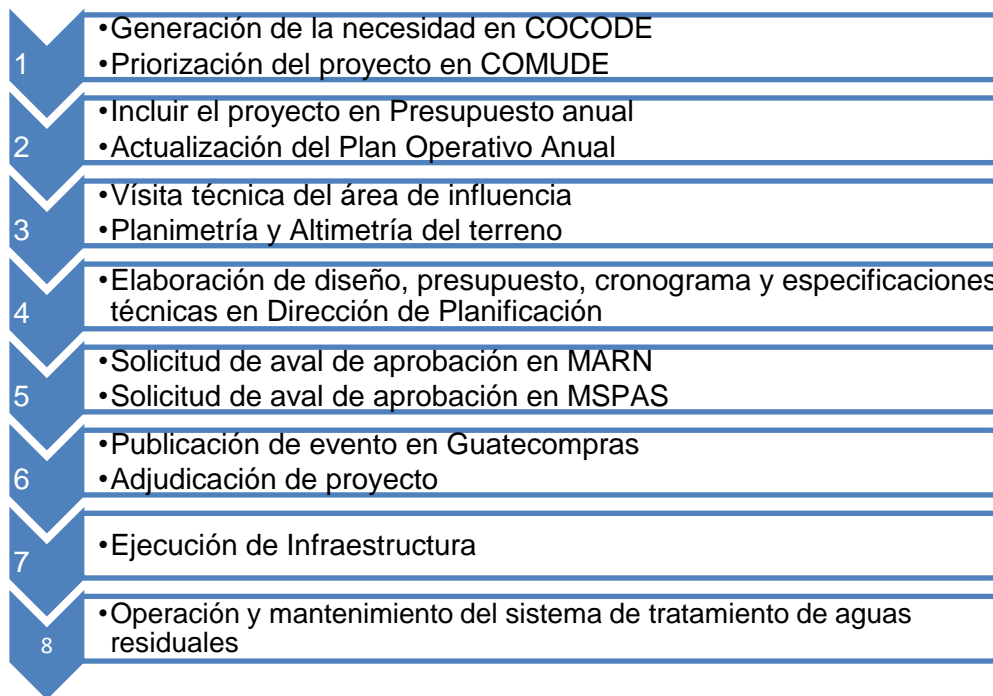
“El diseño estructural de los diferentes elementos que componen una planta de tratamiento, se realiza conforme a un caudal de diseño de la población futura del área de influencia del sistema” (Gálvez, 2007, p. 37). En relación con el caudal de diseño se calcula los volúmenes de agua que recorrerá en cada elemento de la planta de tratamiento. Los conceptos de resistencia del acero de refuerzo y el concreto se establecerán de acuerdo con normas nacionales e internacionales y especificaciones que determine usar el profesional que diseñará los elementos. (Gálvez, 2007)

2.3.4.4. Planificación

La planificación de las plantas de tratamiento parte de cubrir las necesidades de saneamiento ambiental dentro de las comunidades, con los objetivos de disminuir índices de morbilidad, contaminación de cuerpos de agua y para crear condiciones saludables de vida en el medio. Para las autoridades

municipales el proceso de planificación de plantas se lleva a cabo conforme el siguiente esquema cronológico. (Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, 2020)

Figura 2. **Planificación de sistemas de tratamiento**



Fuente: elaboración propia, usando información de CODEDE.

El Instituto de Fomento Municipal (2020) indica en su Guía para la implementación de PTAR que las fases para la planificación y se resumen en el siguiente listado cronológicamente:

- Fase 1. Actividades preliminares
- Fase 2. Estudio de preinversión
- Fase 3. Estudio de prefactibilidad
- Fase 4. Estudio de factibilidad o diseño final
- Fase 5. Legalización de los terrenos
- Fase 6. Búsqueda de financiamiento

- Fase 7. Construcción que concluye con la PTAR terminada
- Fase 8. Operación y mantenimiento
- Procesos sociales en paralelo

2.3.4.5. Aprobación en Secretaría General de Planificación

El Instituto de Fomento Municipal (2020) en su Guía para la implementación de plantas de tratamiento indica que el procedimiento para formular y ejecutar las PTAR conlleva varios requisitos de diferentes instituciones, tal como lo es SEGEPLAN, esta institución gubernamental rige los proyectos de esta naturaleza bajo las normas del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) que se encuentren vigentes.

Cuando llega el tiempo de la ejecución se debe de cumplir con la Ley de Contrataciones y las normas complementarias de construcción y de materiales que se propongan mediante la planificación.

2.3.4.6. Solicitudes de avales Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social

Adicionalmente a las especificaciones que indica SEGEPLAN, la municipalidad debe atender requisitos del MARN y el MSPAS; en el primer caso la municipalidad debe de enviar al MARN los anexos del formato de Evaluación Ambiental Inicial, ya que, debido a la naturaleza de estos proyectos se clasifican en la categoría B y B1. (INFOM, 2020)

En el MSPAS, el Acuerdo Ministerial 8-2016, aprueba una norma técnica en donde establece que el procedimiento para que la unidad emita un dictamen de los proyectos de sistemas de tratamiento (AM 8/2006, 20 de enero de 2016).

2.4. Entes reguladores para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se presentan los entes reguladores para la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.4.1. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social

El MSPAS es el ente responsable de regir aspectos nacionales relativos a la salud preventiva y curativa de los ciudadanos en general.

2.4.1.1. Requisitos de construcción

El Código de Salud, Decreto 90-97, indica las acciones de salud para la promoción y la prevención en el país, en su Libro II, Capítulo IV de Salud y Ambiente, da a conocer la necesidad de la eliminación y disposición de las excretas y aguas residuales. (INFOM, 2020)

La Norma Técnica DRPSA-001-2018 del MSPAS indica el procedimiento para la emisión del Dictamen Sanitario que deben realizar los gobiernos locales en la construcción y modificación de proyectos relacionados a los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En el artículo 10 se enlistan los requisitos documentales para el trámite. (NT DRPSA-001/2018, Art. 2, 2018)

2.4.2. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

El MARN, una institución gubernamental que regula lo relacionado al ambiente y medio biótico de Guatemala. (MARN, 2021)

2.4.2.1. Requisitos de construcción

El INFOM (2020) en su Guía Técnica indica que, debido a la tipología de este tipo de proyectos, categorizados en B y B1, el MARN tiene a disposición de los gobiernos locales un anexo sobre la evaluación ambiental inicial en donde indican que los documentos que se deben adjuntar son:

- Fotocopias del formato
- Fotocopia de DPI de la autoridad municipal
- Declaración Jurada
- Copia simple del Nombramiento del Representante legal
- Plano de ubicación o croquis de la PTAR
- Croquis de distribución de la Planta de tratamiento

Luego de ser aceptado y avalado el formato sobre la evaluación ambiental inicial, se debe de iniciar el proceso para cancelar la licencia en donde ya se presentan los planos constructivos completos.

2.4.3. Requisitos municipales para construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales

La Oficina de control de la construcción privada de San Lucas Sacatepéquez, indica que, para las lotificaciones, urbanizaciones y centros comerciales, para emitir la licencia de construcción, solicitan la licencia ambiental

que emite el MARN, es decir, que la municipalidad no evalúa el diseño de los sistemas de tratamiento, ya que el ente regulador es el MARN.

Para las plantas de tratamiento municipales, no existe una evaluación por parte de la Oficina de control de la construcción privada, se contrata la planificación para luego ser evaluada en los ministerios correspondientes y en SEGEPLAN (Santos, 2021).

2.5. Legislación nacional e internacional

A continuación, se presenta la legislación nacional e internacional, la cual se inicia con los objetivos de desarrollo del milenio.

2.5.1. Objetivos de desarrollo del milenio

El 25 de septiembre de 2015, la ONU formuló y estableció un grupo de objetivos globales con el fin de erradicar la pobreza, resguardar el planeta y asegurar la prosperidad mundial, dicha acción se conoce como la Agenda 2030, siendo un total de 17 objetivos llamado Objetivos de Desarrollo Sostenible [ODS]. (ENVERA, 2019)

El objetivo que se adopta es el de Agua Limpia y Saneamiento, el cual tiene como propósito garantizar el acceso a agua potable y aguas residuales debidamente tratadas para prevenir enfermedades. (ONU, 2020)

2.5.2. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos

En 2006 la Presidencia de la República, acordó emitir el *Reglamento de las Descarga y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*, en donde se muestran los criterios y requisitos para las descargas residuales, en este acuerdo gubernativo se dan a conocer los lineamientos para evaluar en las aguas luego de su tratamiento; así mismo, en el artículo 20 se establecen los parámetros con los límites para estas descargas, también la fecha límite que tienen los gobiernos locales para poder lograr el saneamiento (AG 236/2006, Art. 20, 2019).

En 2019 se emite el Acuerdo Gubernativo 58-2019 donde se emiten reformas al AG 236-2006 donde prolongan la fecha máxima de cumplimiento de los parámetros que establece el acuerdo (AG 58/2019, 2019).

2.5.3. Manual general del reglamento de las descargas y reúso de las aguas residuales y la disposición de lodos

El MARN (2019), proporciona la Guía para el Manual General del Reglamento del AG 236-2006, cuyo fin es dar un procedimiento para entender y ejecutar el mismo, abarcando desde el estudio técnico hasta la determinación de límites permisibles.

2.5.4. Reglamento orgánico interno del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social

En el AG 115-9 se emite el Reglamento Orgánico Interno del MSPAS, donde se le atribuyen al ministerio la responsabilidad de la eliminación y disposición de excretas y aguas grises, por lo que, la institución debe de emitir los dictámenes técnicos para la ejecución de sistemas de tratamiento de aguas residuales. (AG 115/99, Art. 6, 24 1999)

2.5.5. Guía técnica para implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala, Instituto de Fomento Municipal

El instituto de Fomento Municipal brinda a los gobiernos locales, una guía técnica para la implementación de plantas de tratamiento en Guatemala, donde se dan a conocer las respectivas fases, se indican los aspectos más relevantes a tomar en cuenta, desde el diagnóstico preliminar hasta el establecimiento de una tarifa para los costos operación y mantenimiento.

En la guía se establecen los componentes de una planta, se da a conocer la normativa legal vigente y los métodos para solicitud de préstamos de inversión en el INFOM, en caso de ser necesario. (INFOM, 2020)

2.5.6. Sistema de geoposicionamiento para aguas residuales

El MARN en 2021, emite el Acuerdo Ministerial 37-2021 en donde “Se crea el Sistema General de Entes Generadores de Aguas Residuales, denominado SIGEGAR, al cual se podrá ingresar a través del portal web del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales” (AM 37/2021, Art. 1, 29 de enero de 2021).

En esta plataforma deberán ingresar todos los datos relacionados a las descargas de todos los generadores de las mismas, en esta plataforma se debe crear un registro como generador y luego llenar información sobre las descargas dentro de su jurisdicción.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo cualitativa-descriptiva, está considerada evaluar las áreas estratégicas para la ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, después de evaluar la topografía del municipio, los cuerpos receptores y los puntos de descarga de los sistemas de alcantarillados sanitarios existentes y futuros. El alcance de esta investigación no comprobará una hipótesis.

3.2. Fases del estudio

A continuación, se describen tres fases del estudio.

3.2.1. Fase 1. Revisión bibliográfica

En esta fase se llevó a cabo la exploración de todos los temas relacionados al tema de estudio y cada una de sus divisiones, se revisarán las bibliografías que estén relacionadas a la investigación y hacer más eficiente la metodología para determinar los puntos óptimos para la planificación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Con base en la bibliografía consultada se amplió el panorama sobre los parámetros y requisitos que influyeron en la determinación de las áreas estratégicas para la ubicación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

3.2.2. Fase 2. Recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo en dos subetapas, de las cuales la primera consistió en la verificación en campo de los datos que están registrados en la base de datos de la Dirección Municipal de Planificación; el segundo paso consistió en levantar la información inexistente, directamente en campo.

3.2.2.1. Verificación en campo de datos de gabinete

Esta subetapa consistió en la recopilación de información en la Dirección Municipal de Planificación del municipio, sobre los sistemas de alcantarillado sanitario que tienen ubicados en gabinete, se incluyen las áreas tributarias, direcciones de flujo y puntos de descarga de estos. Posteriormente a la revisión de la información existente, se procedió a verificar dicha información en campo; ubicando en campo cada uno de los sistemas registrados.

3.2.2.2. Ubicación en campo de información inexistente en gabinete

Se realizó una sectorización del municipio, de acuerdo con las zonas existentes, se procedió a la identificación y ubicación de las direcciones de los colectores y sus respectivos puntos de descarga.

Así mismo, se realizó el reconocimiento de los cuerpos receptores existentes y las microcuencas que se pueden tomar en cuenta para la descarga de las aguas residuales.

3.2.2.3. Identificación y ubicación geográfica de los puntos de descarga

Para la georreferenciación de los puntos de descarga, se tomaron las coordenadas geográficas de acuerdo con su ubicación en un sistema de información geográfica con una Proyección UTM con Datum WGS84, incluyendo latitud, longitud y altitud.

3.2.2.4. Identificación del efluente de aguas residuales

En este punto se organizó la información obtenida del levantamiento y corroboración de datos de gabinete y campo, se generó un listado de los efluentes ubicados en el municipio, asignándoles una numeración y las características de cada uno, incluye ubicación, áreas tributarias, direcciones de flujo y puntos de descarga para luego ubicarlos en mapas de acuerdo con la zonificación.

3.2.2.5. Identificación de cuerpos receptores de descargas de aguas residuales

Luego del análisis de los efluentes de aguas residuales, se procedió a la caracterización de los cuerpos receptores existentes y otros que se pudieron utilizar, de acuerdo con su ubicación, se tomó en cuenta la naturaleza del cuerpo receptor, y la identificación de áreas aguas abajo, para no generar daños a terceros.

3.2.3. Fase 3. Elaboración de planos y mapas

En esta fase se presenta la elaboración de los planos y los mapas.

3.2.3.1. Puntos de descarga

La información obtenida de la georreferenciación de los puntos de descarga se ingresó en una hoja de cálculo para generar una base de datos de acuerdo con sus ubicaciones y áreas tributarias; seguidamente se procedió a ingresar los datos de ubicación en ArcGis, donde se crearon capas con puntos de descarga por cada zona dentro del municipio. Estas capas con la georreferenciación de los puntos de descarga se sobrepusieron en una hoja cartográfica donde se logró conocer la topografía cercana a estos puntos. Así mismo, las capas se sobrepusieron en ortofotos para poder analizar los accidentes geográficos donde se encuentran las descargas de aguas residuales.

3.2.3.2. Cuerpos receptores

Al igual que los puntos de descarga, la información sobre la georreferenciación de los cuerpos receptores de aguas residuales se ingresó en una hoja de cálculo y se creó una base de datos, la cual, se ingresó en ArcGis para crear capas con la ubicación de todos los cuerpos receptores existentes, las capas se crearon por zonas y se sobrepusieron en hojas cartográficas y ortofotos para conocer la topografía y los accidentes geográficos existentes, respectivamente.

3.2.3.3. Interpolación de datos

Con las hojas de cálculo de los puntos anteriores, se creó una nueva base de datos en una hoja de cálculo, donde se realizó una interpolación de datos sobre la georreferenciación entre los puntos de descarga de aguas residuales y los cuerpos receptores.

Se trabajaron mapas tomando como base hojas cartográficas y ortofotos, sobre las cuales se sobrepusieron las ubicaciones de los puntos de descarga de aguas residuales y también de los cuerpos receptores de las mismas. La superposición de las últimas dos nos dio la información sobre los puntos de descarga que tienen un cuerpo receptor en común y poder llevar todas las aguas servidas hacia un mismo punto y poder determinar la ubicación para la planificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

3.2.4. Fase 4. Análisis de ubicación de sistemas de tratamiento

La ubicación de los puntos estratégicos para la planificación de sistemas de tratamiento de las aguas residuales se realizó mediante el análisis del mapa cartográfico incluyendo cuerpos receptores y puntos de descargas de los alcantarillados sanitarios existentes y futuros, así mismo, se tomaron las indicaciones del Acuerdo Gubernativo 236-2006 y sus reformas, *Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, también se tomaron en cuenta los criterios que evalúa el Consejo Nacional de Áreas Protegidas en cuanto a la construcción de los sistemas de tratamiento.

3.2.4.1. Estudio técnico Acuerdo Gubernativo 236-2006

Se realizó un cuadro descriptivo de cada punto seleccionado, que de acuerdo con el Artículo 6 del Reglamento, llevará la siguiente información:

3.2.4.2. Determinación de predios dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas

El Sistema Guatemalteco de Áreas protegidas establece una guía rápida de pasos para verificar si el predio donde se desea ejecutar infraestructura está inmerso dentro de algún área protegida del país, la metodología por seguir es:

- Paso 1: revisión de municipios que cuentan con áreas protegidas dentro de su jurisdicción. Consiste en la revisión de tablas clasificadas por departamento y se determina si el municipio cuenta con áreas protegidas.
- Paso 2: el terreno no está dentro del SIGAP. Indica que el proyecto ambiental no lo debe conocer el CONAP, en este caso se hace entrega del expediente directamente en el MARN.
- Paso 3: el terreno si está dentro del SIGAP. Se debe gestionar el mapa de ubicación del proyecto, conforme al procedimiento de la Dirección de Análisis Geoespacial.
- Paso 4: emisión del mapa de ubicación del terreno. La Dirección de Análisis Geoespacial, con la información brindada por el proponente, elaborará el mapa de ubicación, debiendo indicar la zona del área protegida en donde se emplazará el proyecto.
- Paso 5: descarga del Plan Maestro del área protegida. De la página web del CONAP, el proponente descargará el Plan Maestro vigente de dicha área.

- Paso 6: se puede realizar el proyecto. La actividad a desarrollar es permisible en la zona correspondiente.
- Paso 7: la actividad es compatible con la normativa del Plan Maestro. Si el proyecto es compatible con la normativa, el proponente revisará el Listado Taxativo vigente.

-

3.2.4.3. Presentación final de áreas estratégicas

Se realizó el análisis de los mapas obtenidos de la interpolación de datos, y a su vez, la información de los criterios para la planificación de la ubicación de los sistemas de tratamiento, de acuerdo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 y el SIGAP, para determinar las áreas; seleccionadas de acuerdo con:

- Mayor concentración de puntos de descarga de aguas residuales
- Topografía
- Cuerpos receptores cercanos
- Cumpla con los requisitos del SIGAP

3.3. Técnicas de análisis

Las técnicas utilizadas para facilitar el análisis de la información fueron:

- Tablas de datos de georreferenciación de puntos de descarga
- Tablas de datos de georreferenciación de cuerpos receptores
- Mapas cartográficos con puntos de descarga
- Mapas cartográficos con cuerpos receptores
- Mapas cartográficos con interpolación de puntos de descarga y cuerpos receptores

Las herramientas utilizadas fueron:

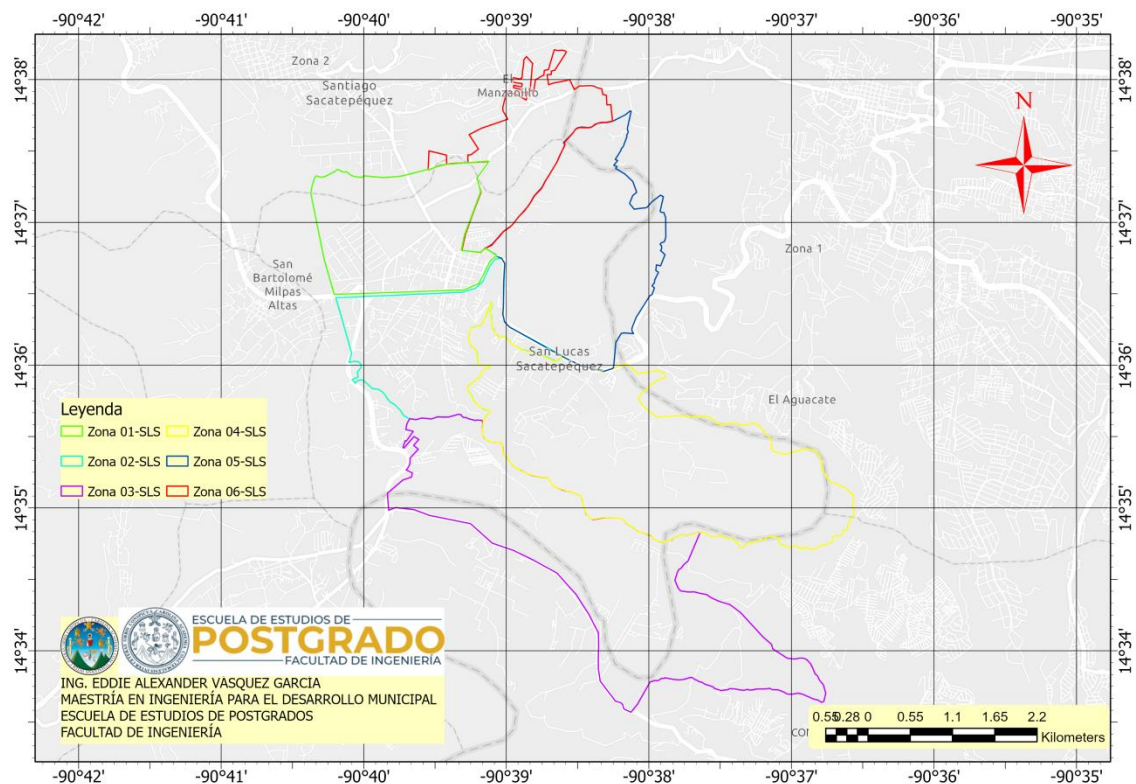
- Software de hojas de cálculo y bases de datos
- Software de Sistemas de información geográfica, ArcGis Pro
- Software de Autodesk, AutoCAD 2022, Civil 3D

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Geoposicionamiento de alcantarillados sanitarios

Para la presentación de los alcantarillados sanitarios existentes, debido a la extensión territorial del municipio, se desglosaron los sistemas de alcantarillado de acuerdo con la división administrativa del municipio.

Figura 3. Mapa de división administrativa de San Lucas Sacatepéquez



Fuente: elaboración propia, utilizando ArcGIS.

En la figura 3, se muestran las 6 zonas en las que está dividido administrativamente el municipio.

De acuerdo con la información obtenida en la Dirección Municipal de Agua, Saneamiento y Gestión Ambiental de la municipalidad, el municipio cuenta con siete plantas de tratamiento activas, siendo estas las siguientes:

Tabla I. **Sistemas de tratamiento en San Lucas Sacatepéquez**

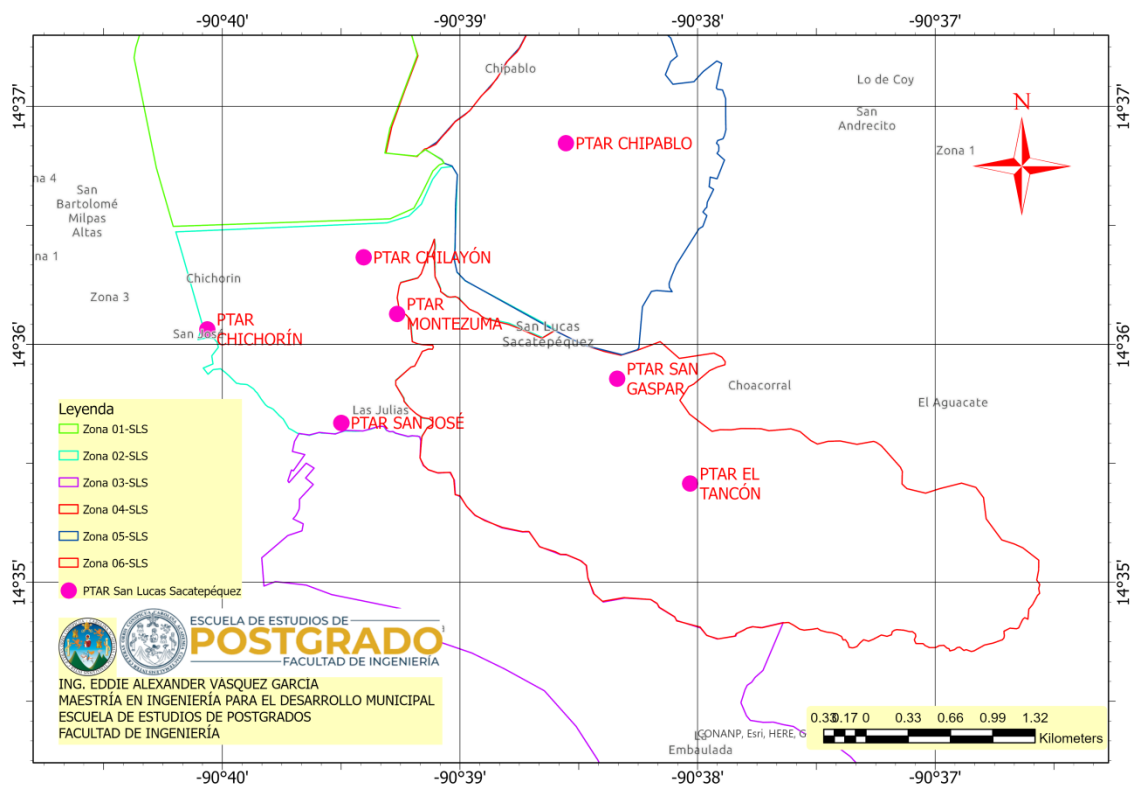
Nombre	Latitud	Longitud	Capacidad (m ³ /día)	Área de influencia (viviendas)	Área del sistema (m ²)	Cuerpo receptor
Chilayón	14°36'22 "	90°39'24 "	429.4	8,495	1,800	Riachuelo Chilayón conexión con Río Las Vigas
Chichorín	14°36'04 "	90°40'03 "	183.76	497	520	Río Chichorín
San José	14°35'40 "	90°39'30 "	56.29	75	630	Río San José
Montezuma	14°36'08 "	90°39'16 "	175	328	980	Riachuelo Chilayón conexión con Río Las Vigas
San Gaspar	14°35'51 "	90°38'20 "	20	29	260	Hacia pozo de absorción
El Tancón	14°35'24 "	90°38'02 "	88.57	76	320	Río intermitente con conexión a Río San Lucas
Chipablo	14°36'52 "	90°38'36 "	29	26	170	Río intermitente con conexión a Riachuelo Chilayón

Fuente: elaboración propia, con información de Dirección Municipal de Agua, Saneamiento y Gestión Ambiental.

Estos 7 sistemas de tratamiento están distribuidos en tres zonas, cuatro en la Zona 2, dos en la Zona 4 y una en la Zona 5. El mantenimiento de las mismas está a cargo de la Dirección Municipal de Agua, Saneamiento y Gestión Ambiental.

Estos sistemas de tratamiento fueron diseñados conforme se iban mejorando los sistemas de alcantarillado sanitario existente, reemplazando los colectores de concreto por tubería de PVC normada de acuerdo con especificaciones certificadas.

Figura 4. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en San Lucas Sacatepéquez



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

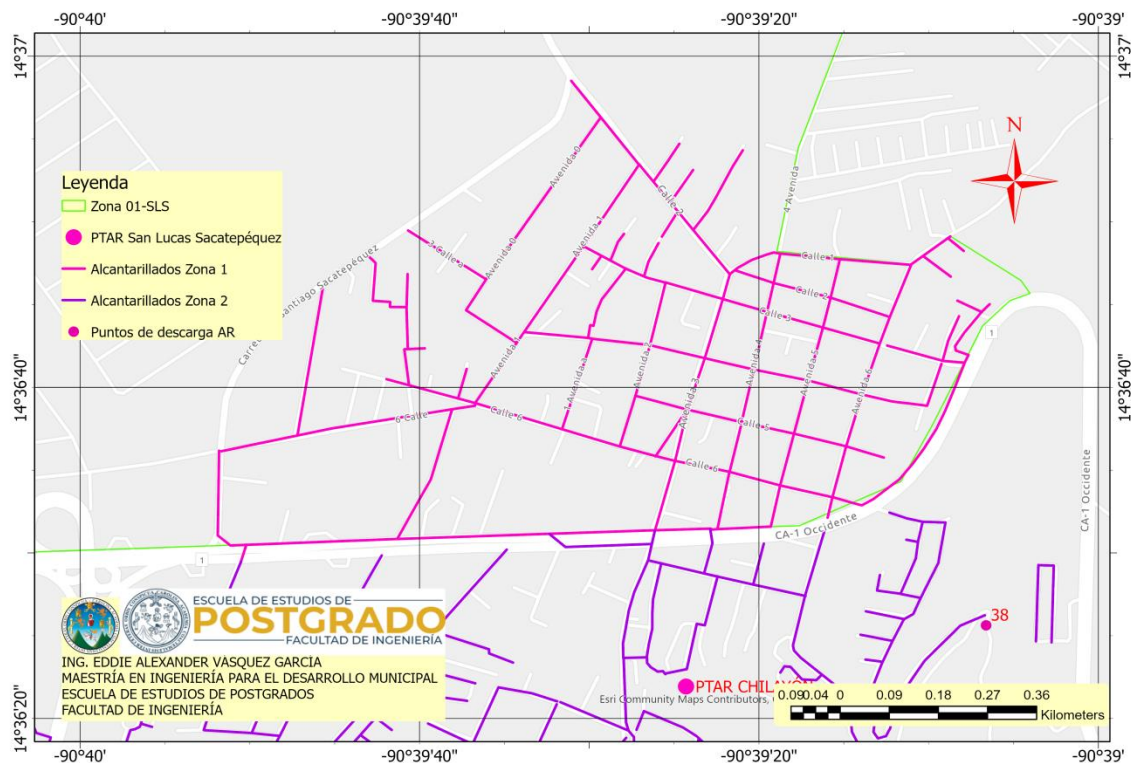
En la figura 4 se observa la distribución geográfica de cada uno de los sistemas de tratamiento existentes en el municipio. La concentración demográfica en San Lucas Sacatepéquez se ubica en las zonas 1 y 2, de ahí la cantidad de sistemas existentes para esta área de influencia.

Las zonas 1, 3 y 6 carecen de sistemas de tratamiento debido a que la primera se encuentra en la parte plana del municipio, las segundas dos debido a que no hay alcantarillados sanitarios en las comunidades. Únicamente las residenciales poseen su respectivo tratamiento.

4.1.1. Sistemas de alcantarillado sanitario existentes

En la figura 5 se presentan los sistemas de alcantarillado sanitario que existen.

Figura 5. **Sistemas de alcantarillado en zona 1 de San Lucas Sacatepéquez**

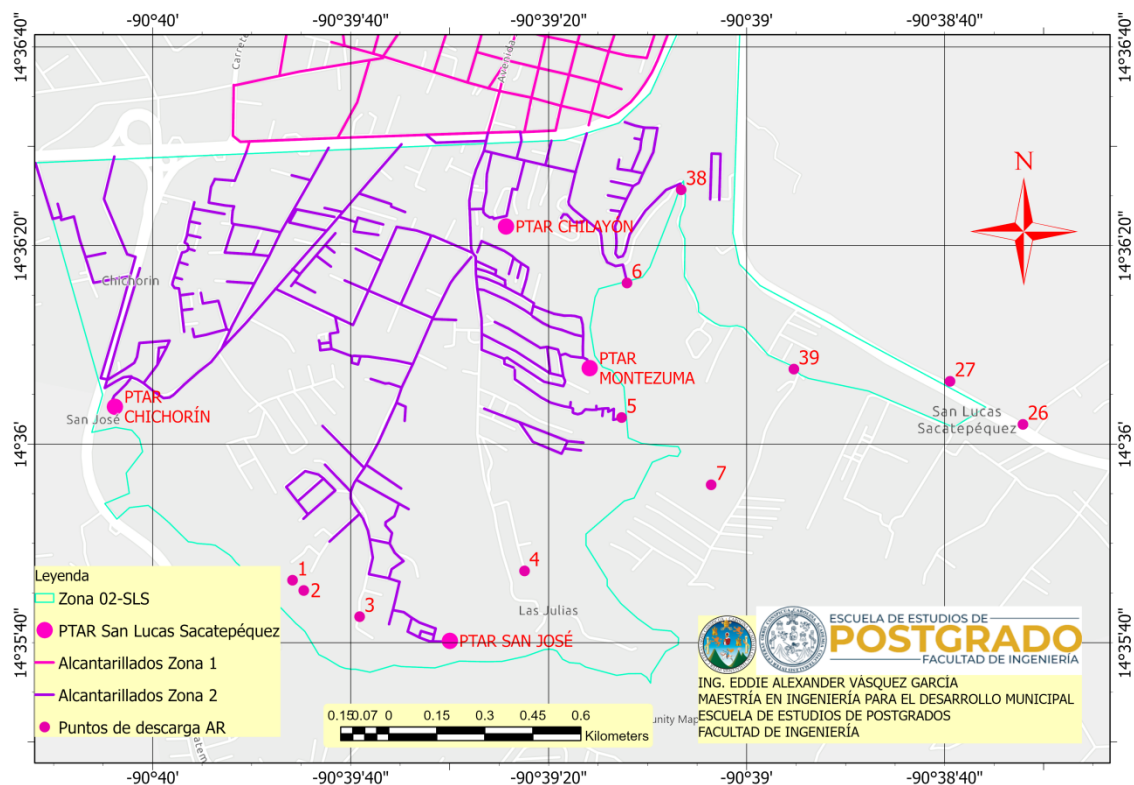


Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 5 se indican los sistemas de alcantarillados sanitarios existentes en la zona 1 del municipio, en donde la mayoría de la población tiene cobertura a este servicio, todas sus aguas son dirigidas hacia el sur debido a la topografía del casco urbano, levemente inclinada con pendiente hacia la zona 2. las áreas residenciales de la zona 1 utilizan fosa séptica.

La mayoría de la topografía del municipio es quebrada, sin embargo, la zona 1 se encuentra en un valle, por lo que, no tiene ningún punto de descarga de aguas residuales en su territorio ni planta de tratamiento, estas se dirigen hacia la zona 2.

Figura 6. Sistemas de alcantarillado en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez

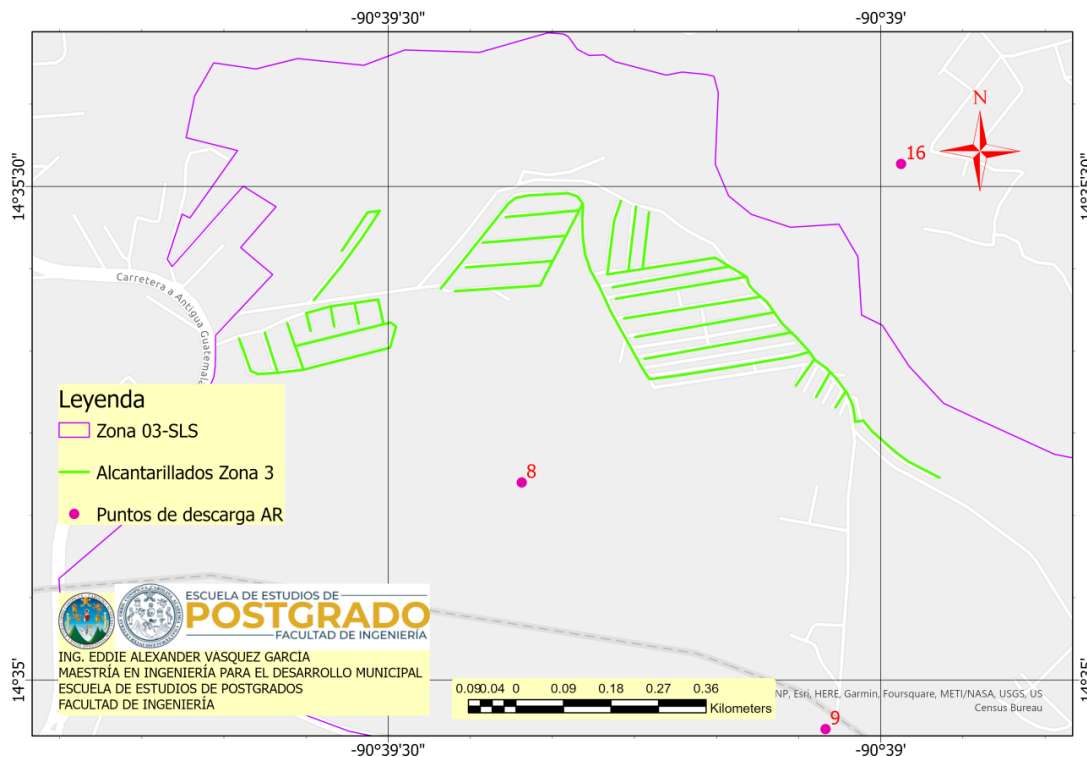


Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 6 se observan los sistemas de alcantarillado sanitario existentes en la zona 2 del municipio, debido a la topografía de esta zona y a su densidad y distribución demográfica, acá están ubicados los puntos de descarga de los sistemas que inician en la zona 1 y zona 2. la zona 1 colinda al sur con la zona 2, con una elevación promedio de 2,070 msnm, el sur de la zona 2 está a una elevación promedio de 2,020 msnm.

En la zona 2, una pequeña parte, un 5 % de la población no tiene acceso al alcantarillado municipal, y otro 5 % corresponde a residenciales privadas que tienen un pretratamiento dentro de su jurisdicción y otras con fosa séptica. De los alcantarillados existentes, dos no conectan a un sistema de tratamiento.

Figura 7. Sistemas de alcantarillado en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez

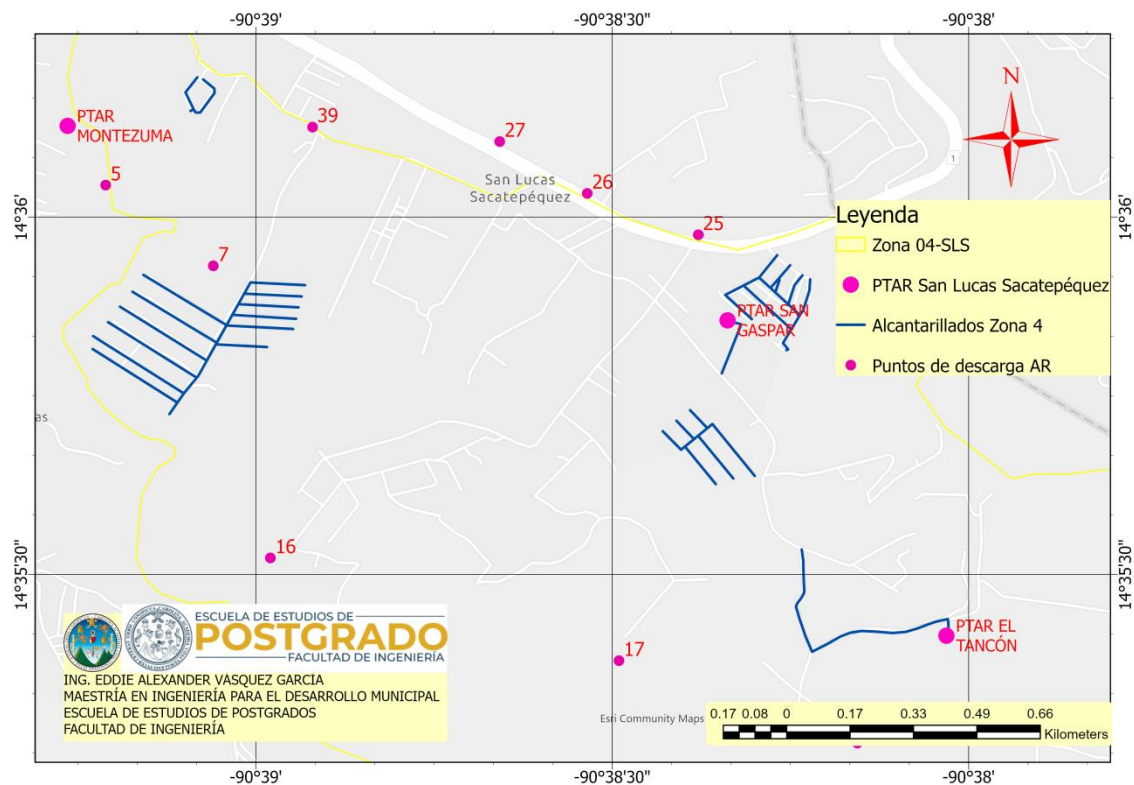


Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En el caso de la zona 3, está compuesta por las aldeas Zorzoyá Sector 1 y 2, La Embaulada y residenciales privadas; Zorzoyá y La Embaulada no tienen servicio de alcantarillado sanitario municipal, debido a la falta de terrenos municipales. Por otra parte, las residenciales privadas cuentan con sus alcantarillados y su respectiva planta de tratamiento, ya que así lo exige la oficina municipal de la construcción privada en su concepción.

En la figura 7 se observan los alcantarillados sanitarios existentes en la zona 3, los cuales corresponden únicamente a residenciales privadas, las aldeas no cuentan con este servicio público.

Figura 8. **Sistemas de alcantarillado en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez**

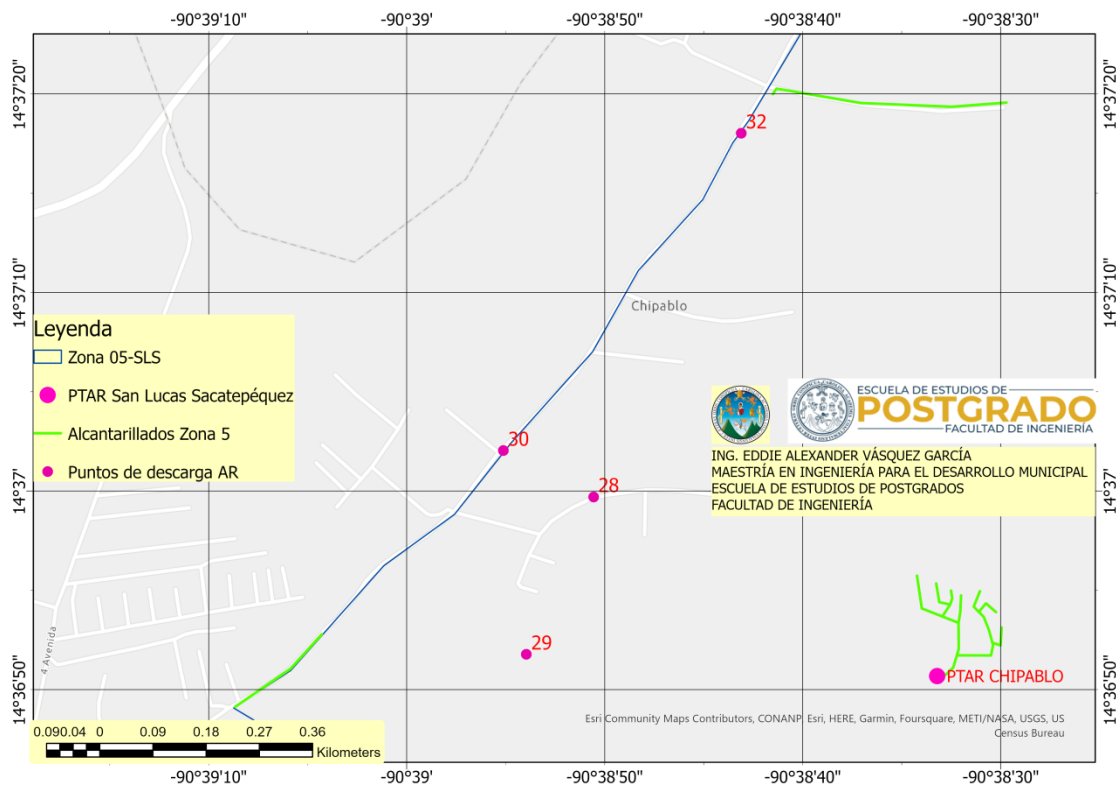


Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

Al igual que en la zona 3, la zona 4 está conformada por la aldea Choacorrall y varias residenciales, en la zona 4 tienen alcantarillado sanitario todas las residenciales y únicamente dos sectores de Choacorrall tiene acceso al alcantarillado municipal, con su respectiva planta de tratamiento cada uno.

En la figura 8 se muestran los alcantarillados sanitarios existentes de la zona 4, esta zona se caracteriza por tener una pendiente muy quebrada y posee varias microcuencas donde se pueden ubicar áreas para el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Choacorrall es la aldea más grande del municipio y colinda con el municipio de Mixco.

Figura 9. **Sistemas de alcantarillado en zona 5 de San Lucas Sacatepéquez**



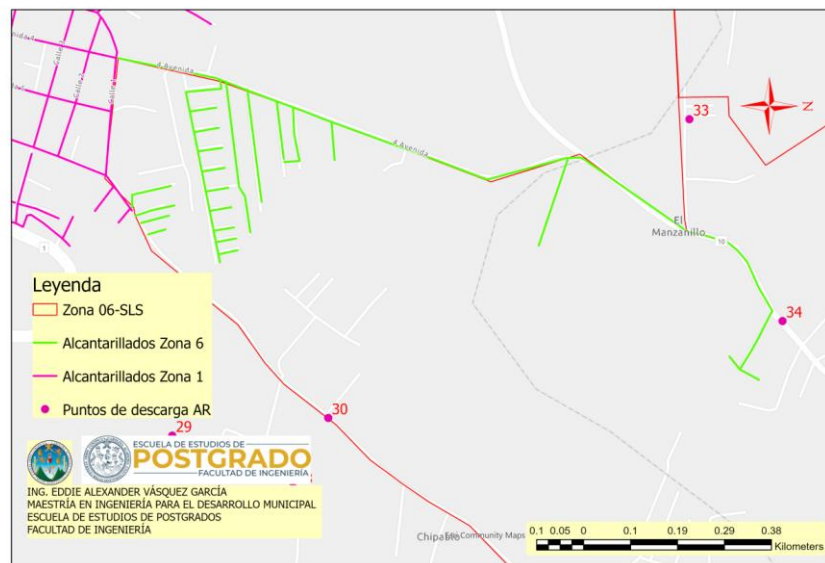
Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 9 se muestra la ubicación de los alcantarillados sanitarios existentes en la zona 5, dos corresponden a servicio municipal, de los cuales uno está conectado al colector principal de la zona 1 y el otro corresponde al caserío Chipablo el cual cuenta con su respectiva planta de tratamiento.

La zona 5 está concebida en el pie del Cerro Alux, por lo que su densidad poblacional es muy baja, sin embargo, existen sectores y comunidades que carecen del servicio de alcantarillado.

La zona 6 del municipio, colinda al sur con el casco urbano del municipio, sus sistemas de alcantarillado sanitario existente están conectados a los colectores principales de este, la parte más alta de la zona, hacia al norte, carece de sistemas de recolección de aguas residuales y por consiguiente de sistemas de tratamiento de estas.

Figura 10. **Sistemas de alcantarillado en zona 6 de San Lucas Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 10, se observan los alcantarillados existentes en la zona 6, estos representan ramales de colector principal que lleva todas las aguas hacia el casco urbano, por lo tanto, sus aguas llegan hacia el sistema de tratamiento Chilayón para su desfogue final. Las comunidades que están al norte de esta zona carecen del servicio municipal de recolección y utilizan fosas sépticas y en otros casos biodigestores.

4.1.2. Puntos de descarga existentes sin tratamiento

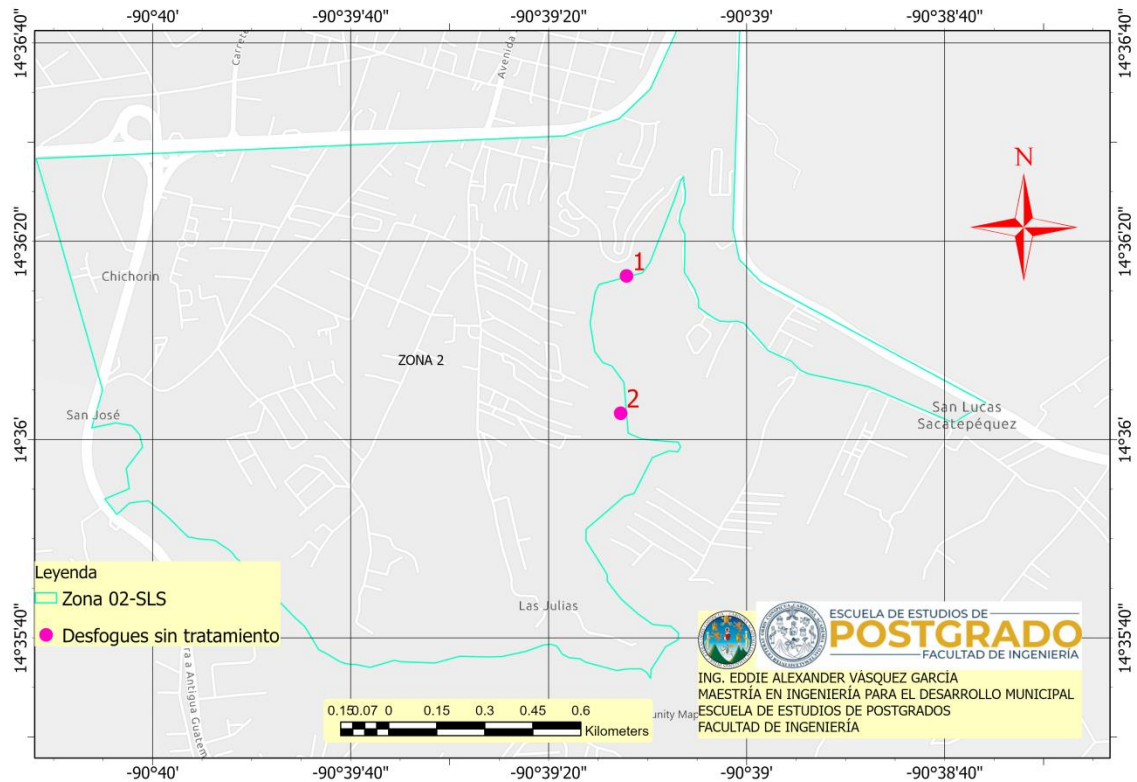
De acuerdo con las figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10 existen dos sistemas de alcantarillados sanitarios existentes que desfogan sus aguas hacia los cuerpos receptores sin ningún tratamiento, estos sistemas se ubican en las periferias de la zona 2.

Tabla II. **Puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento**

No.	Comunidad	Latitud	Longitud	Viviendas
1	Camino a Sacurun	14°36'17" N	90°39'12" O	113
2	Cantón Reforma	14°36'03" N	90°39'13" O	92

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Puntos de descarga sin tratamiento



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la tabla II se enlistan los puntos de descarga de alcantarillados sanitarios existentes sin su respectivo tratamiento, también su ubicación geográfica en latitud y longitud, coordenadas que se pueden ubicar en las fotografías satelitales como se observa en la figura 11.

Debido a la diferencia de altura entre el punto de descarga de los alcantarillados y la ubicación de sistemas de tratamiento existentes, es imposible llevar las aguas grises por gravedad, por lo que se debe usar un sistema de bombeo o establecer nuevos sistemas de tratamiento.

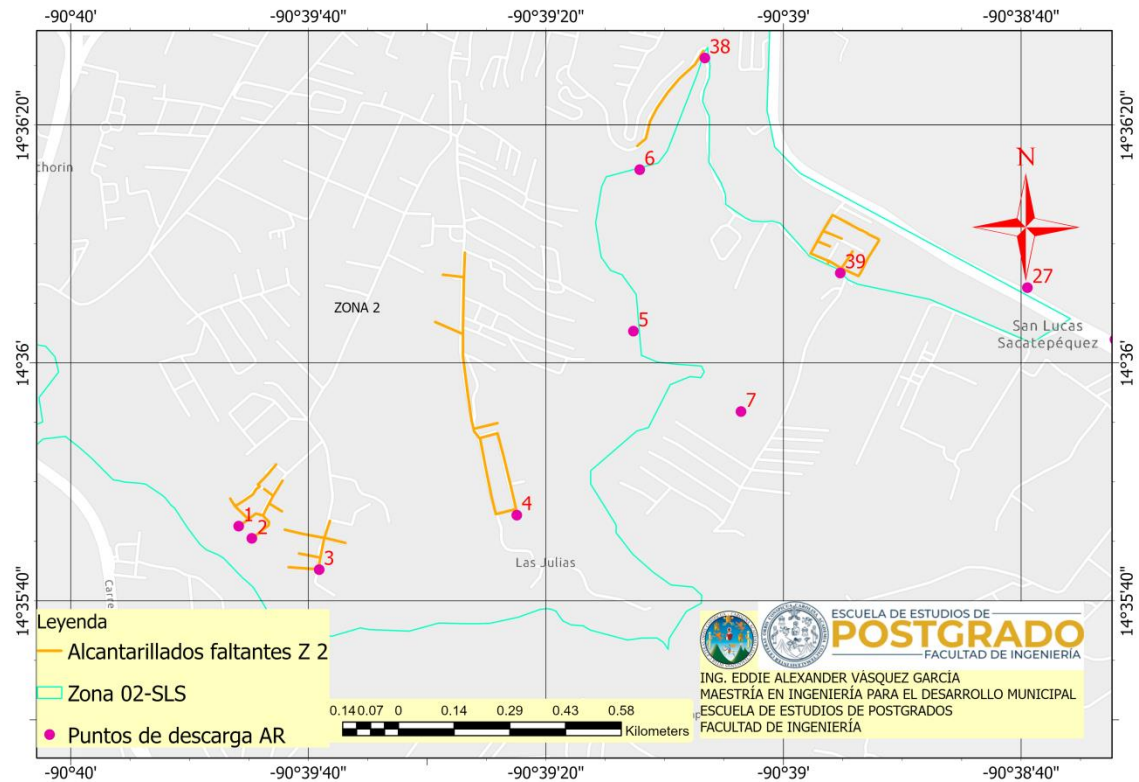
4.1.3. Centros poblados sin alcantarillado sanitario

En la zona 1 existen únicamente residenciales privadas que no cuentan con alcantarillado sanitario, debido a que el reglamento municipal de la oficina de control de la construcción privada indica que estas deben de poseer su propio sistema de alcantarillado sanitario, para efectos de este estudio se tomaron centros poblados donde la planificación de alcantarillados sanitarios y sistemas de tratamiento le corresponde a la municipalidad.

En la zona 2 también hay residenciales privadas que no cuentan con el servicio, sin embargo, existen caseríos que no cuentan con este servicio municipal, esto se debe a su topografía y a la falta de predios municipales para poder establecer un tratamiento a las aguas recolectadas.

En la figura 12 se observan los centros poblados de la zona 2 que no cuentan con un sistema de alcantarillado sanitario, de acuerdo con hojas topográficas se proponen las direcciones del alcantarillado sanitario para poder darle seguimiento a la propuesta de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Figura 12. **Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez**



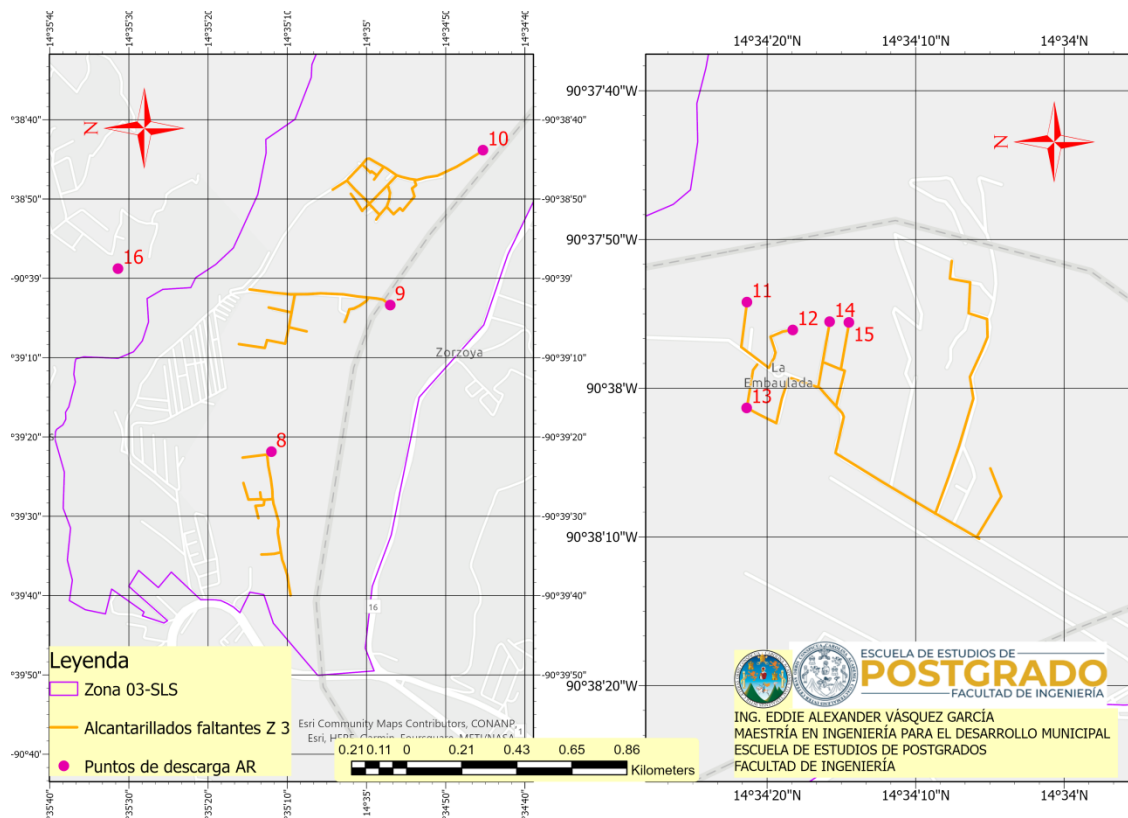
Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 12 podemos notar que existen cuatro sectores que no tiene alcantarillado sanitario, por lo que también se tomarán en cuenta para el establecimiento de las áreas de tratamiento de aguas residuales.

En la zona 3, ninguno de los centros poblados tiene acceso a un servicio municipal de alcantarillado sanitario, para este caso se encuentran cuatro grandes sectores en donde se puede planificar un sistema de alcantarillado sanitario, encontrándose tres en la aldea Zorzoyá, como se muestra a la izquierda del mapa de la figura 12, y uno en la aldea La Embaulada, a la derecha del mapa

de la figura 12. En la figura 13 se encuentra la ubicación geográfica de estas comunidades indicadas.

Figura 13. **Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez**



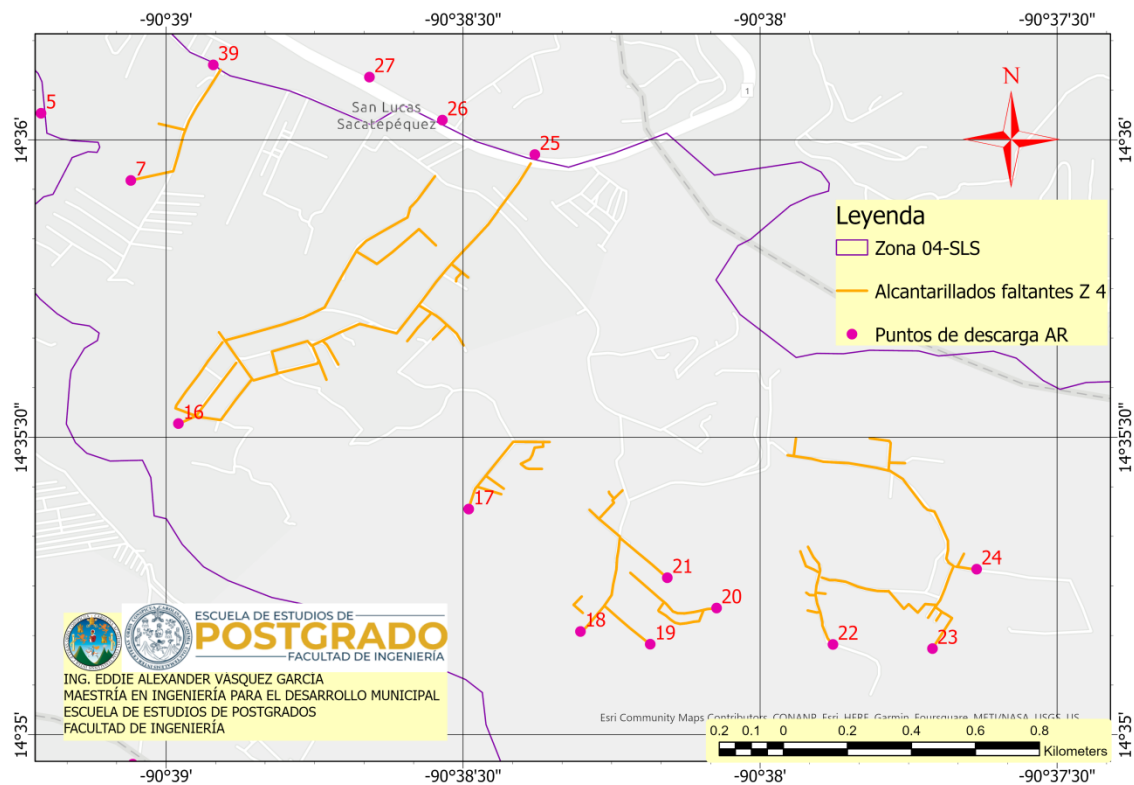
Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

La zona 4 está conformada por la aldea Choacorral, la más grande del municipio donde solamente dos sectores tienen acceso al servicio municipal de alcantarillado sanitario.

En la figura 14 observamos que en la zona 4, existen siete centros poblados que carecen de sistema de alcantarillado sanitario, sin embargo, por la

topografía del lugar se pueden definir estos para su futura planificación, así mismo los puntos de descarga de cada uno de estos.

Figura 14. **Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez**

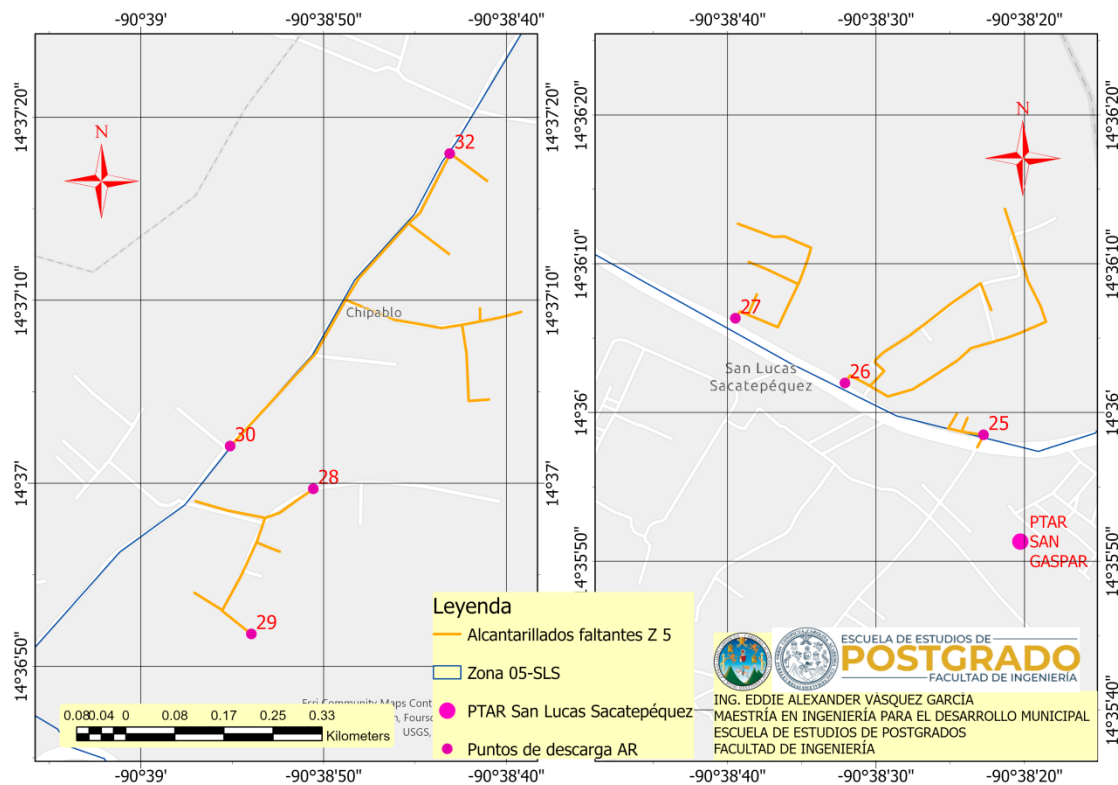


Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

La zona 4 tiene la peculiaridad de tener pendientes mayores a 25 %, consideradas como fuertemente inclinadas, esto hace que algunos sistemas de alcantarillado se puedan conectar con uno que se encuentre en la parte baja, sin embargo por la existencia de viviendas y propiedades privadas no se puede conectar para darle continuidad al colector principal.

En esta zona la densidad poblacional es baja, debido a su gran extensión comparada con las viviendas existentes, sin embargo, los centros poblados se concentran en espacios pequeños generando que la densidad habitacional incremente.

Figura 15. **Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 5 de San Lucas Sacatepéquez**

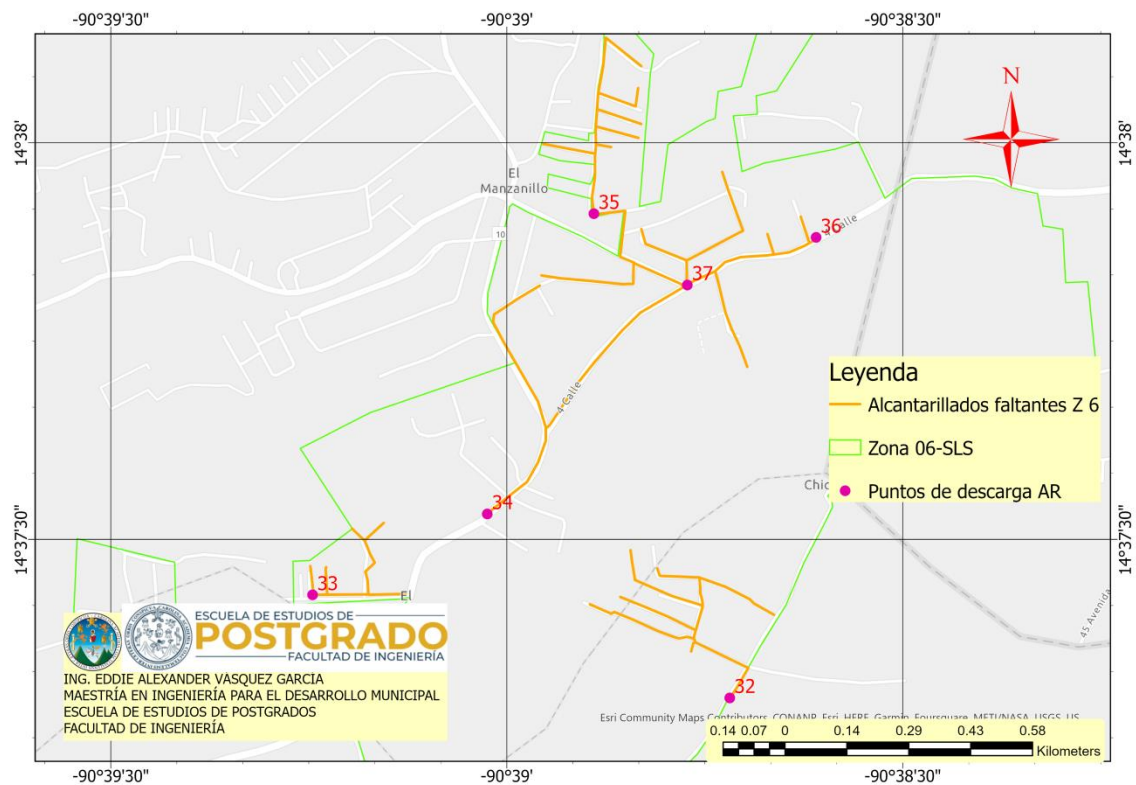


Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 15 se observan los sistemas de alcantarillado faltantes en la zona 5 sumando un total de 6, estos sistemas colindan con las zonas 4 y 6, por lo que en la georreferenciación de los cuerpos receptores se verificará si es factible conducir las aguas hacia uno de estos o conectarlos hacia otro sistema en la zona vecina.

En el caso del sistema de alcantarillado que colinda con la zona 6, unificarán sus aguas en un punto en común, ya que la calle principal que los divide administrativamente servirá como guía para el colector principal.

Figura 16. **Sistemas de alcantarillado faltantes en zona 6 de San Lucas Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 16 se observan los centros poblados de la zona 6 que carecen del servicio municipal de alcantarillado sanitario, de acuerdo con la topografía de cada uno se proponen los mismos, para tomarlos en cuenta en las futuras descargas de aguas residuales y poder ubicarlos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

La zona 6 por colindar con la zona 1 en su parte baja, sus aguas pueden tributar hacia los colectores existentes, sin embargo, cuando se analicen los cuerpos receptores se podrá definir la factibilidad de la conexión hacia uno existente o en un nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales.

4.1.4. Georreferenciación de puntos de descarga

Con los resultados obtenidos de los alcantarillados existentes, en las secciones anteriores, se logró determinar la ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales, creando la siguiente base de datos:

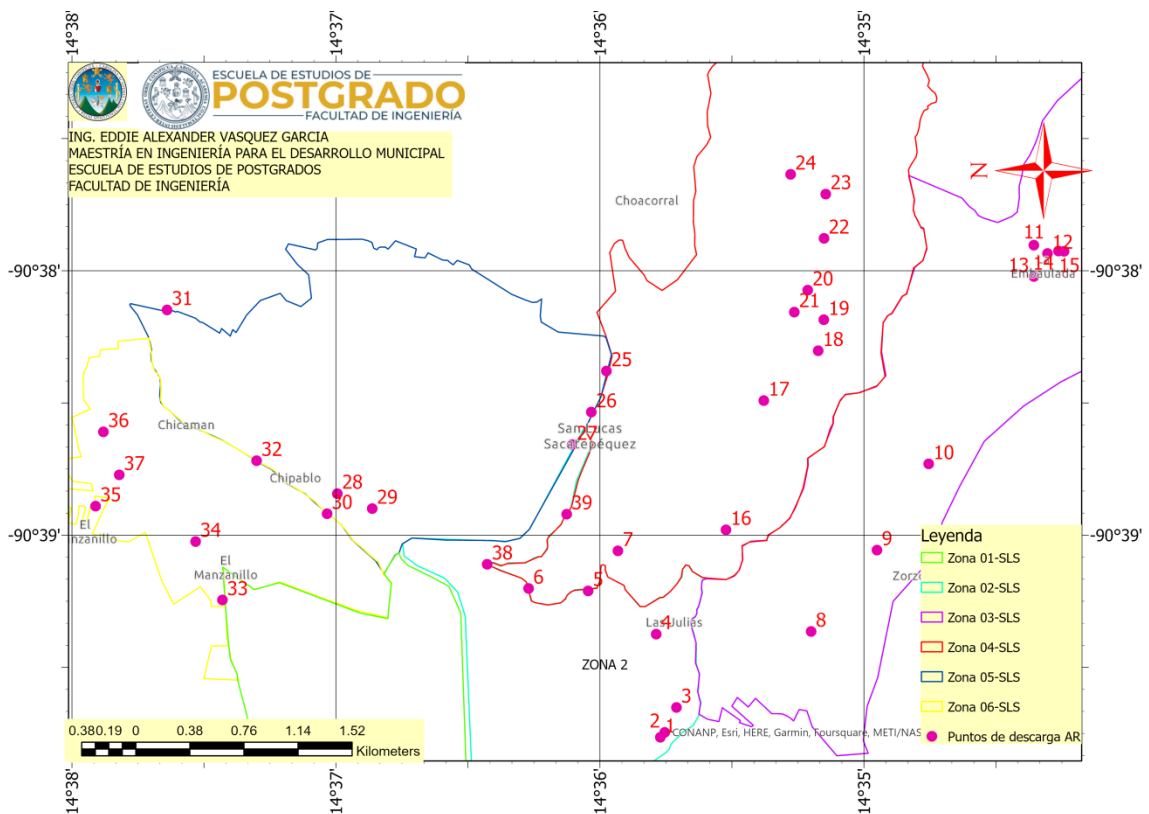
Tabla III. **Ubicación de puntos de descarga de aguas residuales**

No.	Latitud	Longitud	No.	Latitud	Longitud
1	14° 35' 46"	90° 39' 46"	21	14° 35' 16"	90° 38' 09"
2	14° 35' 45"	90° 39' 45"	22	14° 35' 09"	90° 37' 53"
3	14° 35' 43"	90° 39' 39"	23	14° 35' 09"	90° 37' 43"
4	14° 35' 47"	90° 39' 22"	24	14° 35' 17"	90° 37' 38"
5	14° 36' 03"	90° 39' 13"	25	14° 35' 58"	90° 38' 23"
6	14° 36' 16"	90° 39' 12"	26	14° 36' 02"	90° 38' 32"
7	14° 35' 56"	90° 39' 04"	27	14° 36' 06"	90° 38' 39"
8	14° 35' 12"	90° 39' 22"	28	14° 37' 00"	90° 38' 51"
9	14° 34' 57"	90° 39' 03"	29	14° 36' 52"	90° 38' 54"
10	14° 34' 45"	90° 38' 44"	30	14° 37' 02"	90° 38' 55"
11	14° 34' 21"	90° 37' 54"	31	14° 37' 38"	90° 38' 09"
12	14° 34' 18"	90° 37' 56"	32	14° 37' 18"	90° 38' 43"
13	14° 34' 21"	90° 38' 01"	33	14° 37' 26"	90° 39' 15"
14	14° 34' 16"	90° 37' 56"	34	14° 37' 32"	90° 39' 01"
15	14° 34' 15"	90° 37' 56"	35	14° 37' 55"	90° 38' 53"
16	14° 35' 31"	90° 38' 59"	36	14° 37' 53"	90° 38' 37"
17	14° 35' 23"	90° 38' 29"	37	14° 37' 49"	90° 38' 46"
18	14° 35' 10"	90° 38' 18"	38	14° 36' 26"	90° 39' 07"
19	14° 35' 09"	90° 38' 11"	39	14° 36' 08"	90° 38' 55"
20	14° 35' 13"	90° 38' 04"			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla III se indican las coordenadas geográficas de los 39 puntos de descarga de aguas residuales encontrados en el municipio, distribuidos en las 5 zonas, estos mismos puntos se georreferenciaron en el sistema de información geográfica y se puede observar en la figura 17.

Figura 17. Georreferenciación de puntos de descarga de aguas residuales



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 17 se observan los puntos de descarga de aguas residuales en el municipio, cabe resaltar que dos corresponden a descargas existentes y el resto al de alcantarillados que se deben de planificar para dar cobertura del servicio municipal a los centros poblados que no cuentan con este. Estos puntos se muestran en el mapa georreferenciados y enumerados, así mismo, se indican

las zonas del municipio para poder observar la cantidad de descargas que hay en cada una de estas.

4.2. Geoposicionamiento de cuerpos receptores

El municipio por encontrarse en una parte alta del país, con elevaciones que oscilan entre 1,800 msnm y 2,200 msnm, posee gran cantidad de depresiones donde se originan diferentes corrientes intermitentes, riachuelos y quebradas que conforman otros ríos de primer orden. Así mismo, la división administrativa del municipio se basa en zonas que están delimitadas por algunos de estos ríos.

4.2.1. Hidrografía existente en el municipio

A continuación, en la siguiente figura se presenta la hidrografía existente en el municipio.

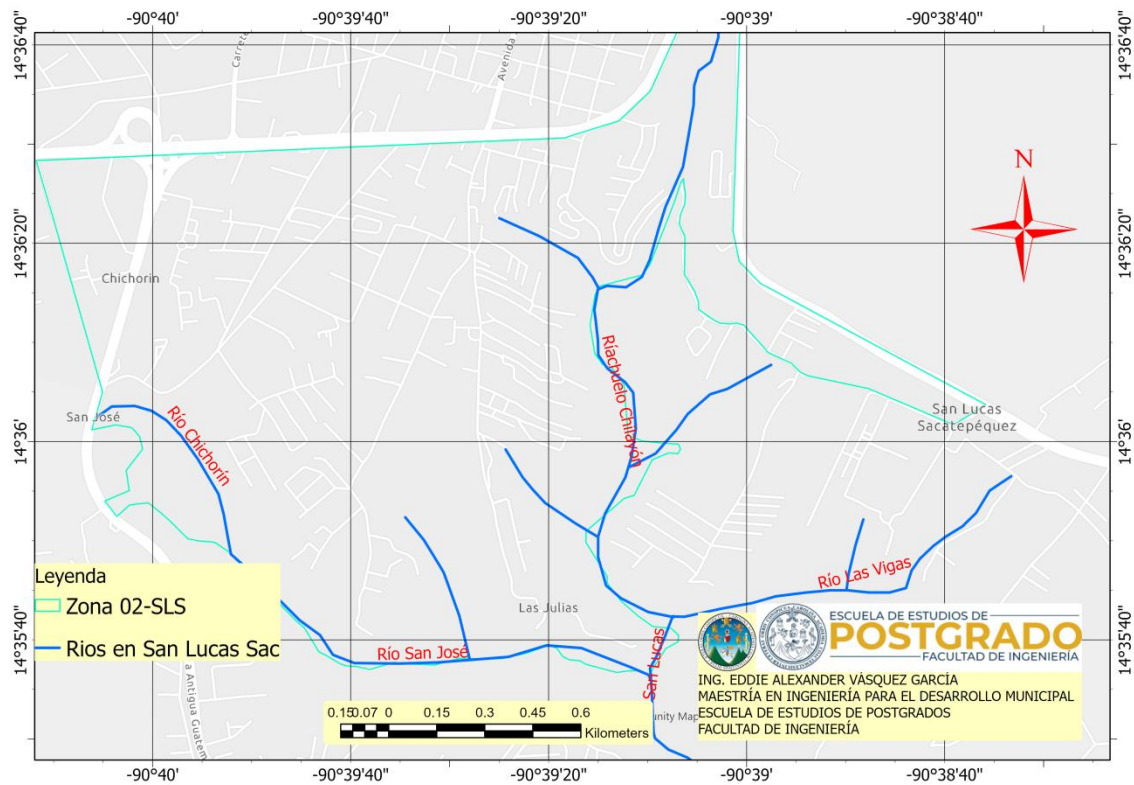
Figura 18. **Ríos existentes en Zona 1 de San Lucas Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 18 se observa que la zona 1 del municipio, por encontrarse en un valle, carece de ríos en su parte central o en el área más baja de la misma, sin embargo, al norte colinda con el riachuelo Chtizrín cuyo flujo se dirige hacia Santiago Sacatepéquez.

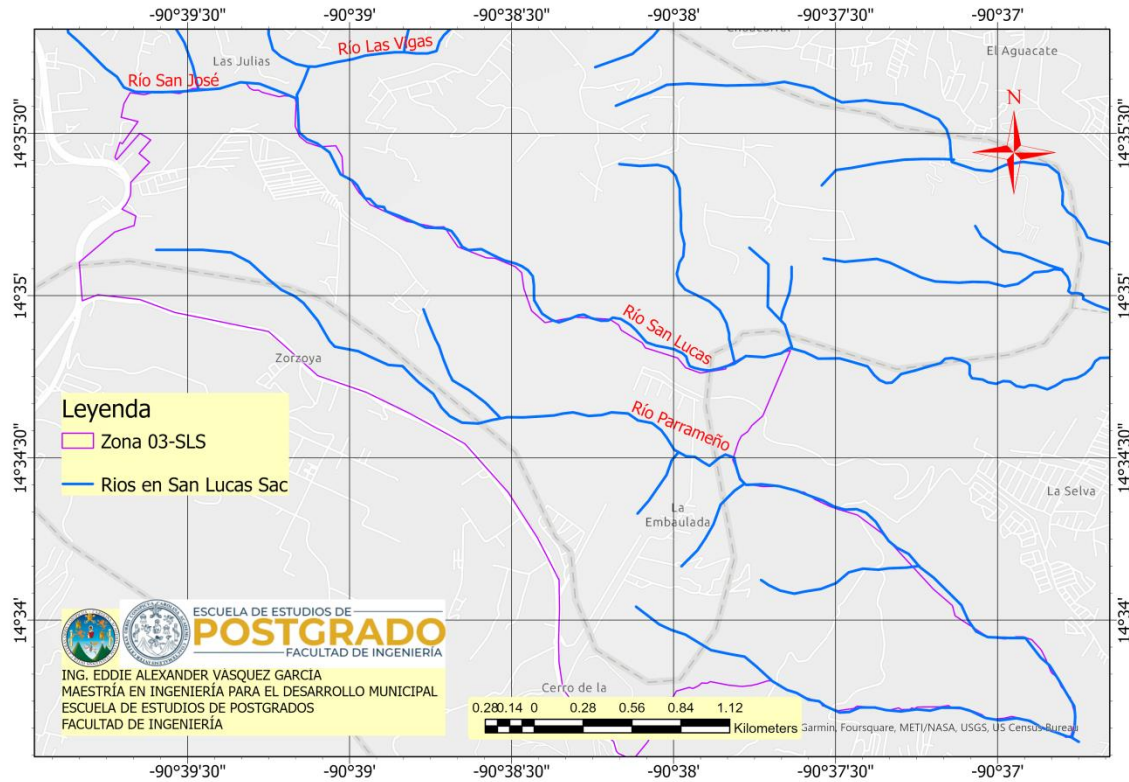
Figura 19. Ríos existentes en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

La zona 2 posee en su jurisdicción el inicio de la microcuenca del río San Lucas, por lo que tiene el inicio de varias corrientes intermitentes y otros ríos que tributan hacia esta misma cuenca, dentro de esta se ubican el riachuelo Chilayón, el río Chichorín y el río San Lucas, también otros ramales que conforman las corrientes intermitentes y se generan durante la época lluviosa.

Figura 20. Ríos existentes en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez

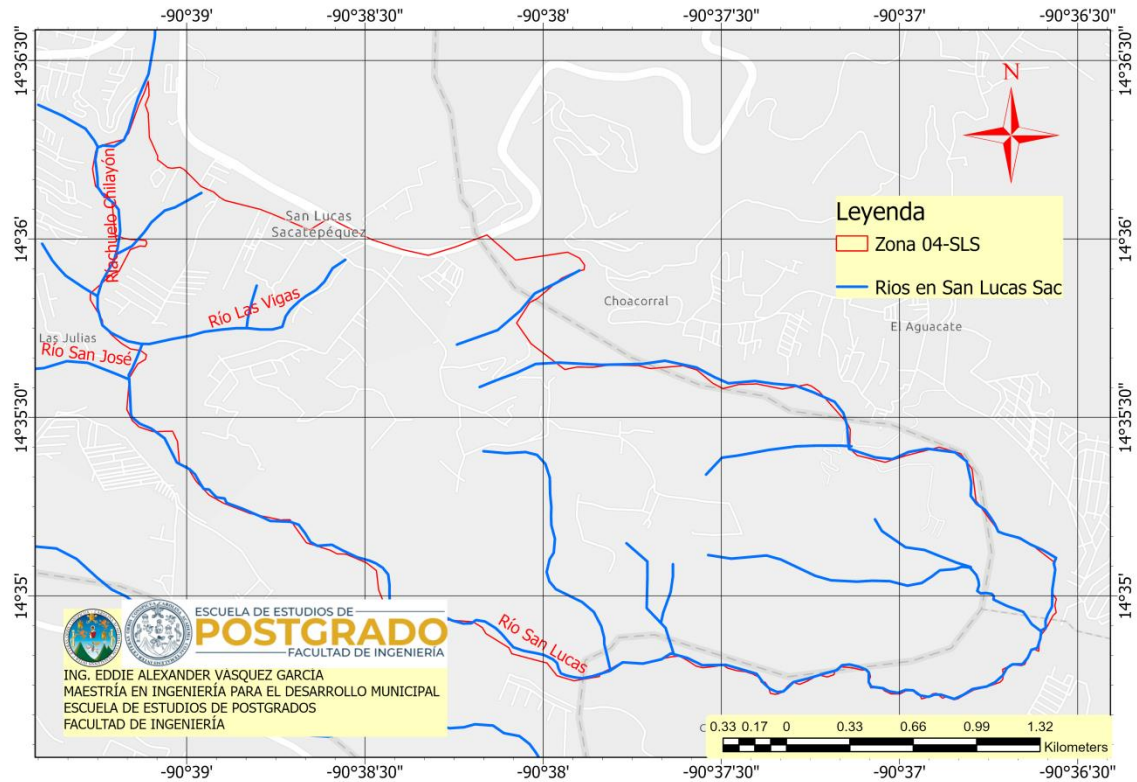


Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 20 se observan los ríos dentro de la jurisdicción de la zona 3 del municipio, correspondiente al río San Lucas y al río Parrameño, ambos tienen corrientes intermitentes que conforman sus ramales. Estos dos ríos delimitan la zona 3 y atraviesan la zona de oeste a este, por lo que es factible verificar la conexión de todos los puntos de descarga de esta zona hacia este cuerpo receptor.

En la zona 4 los ríos de influencia son el río San Lucas, Las Vigas y riachuelo Chilayón, de igual manera estos forman parte de sus límites territoriales, sin embargo, corrientes intermitentes integran sus ramales dentro de su territorialidad. En la figura 20 se observa la hidrografía existente.

Figura 21. Ríos existentes en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

Las zonas 5 y 6, se ubican en latitudes más altas que el resto de las zonas, la zona 5 está concebida en las faldas del Cerro Alux y la zona 6 en una parte de este; en la región suroccidente de la zona 5 existe una corriente intermitente que llega al riachuelo Chilayón, mientras que la zona 6 carece de corrientes o zanjonés. En estas zonas se tendrá que evaluar llevar sus aguas hacia las zonas más bajas donde ya existen cuerpos receptores o evaluar si se pueden conectar a un colector existente, lo cual no es recomendable ya que se tendría que realizar un estudio más avanzado de los diámetros y pendientes de los alcantarillados existentes para evaluar si funcionarían hidráulicamente cuando se les conecte otro sistema.

4.2.2. Georreferenciación de cuerpos receptores

El municipio de San Lucas Sacatepéquez tiene la característica que posee una hidrografía bastante amplia al sur de su jurisdicción, conteniéndose en estos riachuelos, ríos, quebradas y varias corrientes intermitentes, que pueden utilizarse como cuerpos receptores para las descargas de aguas residuales.

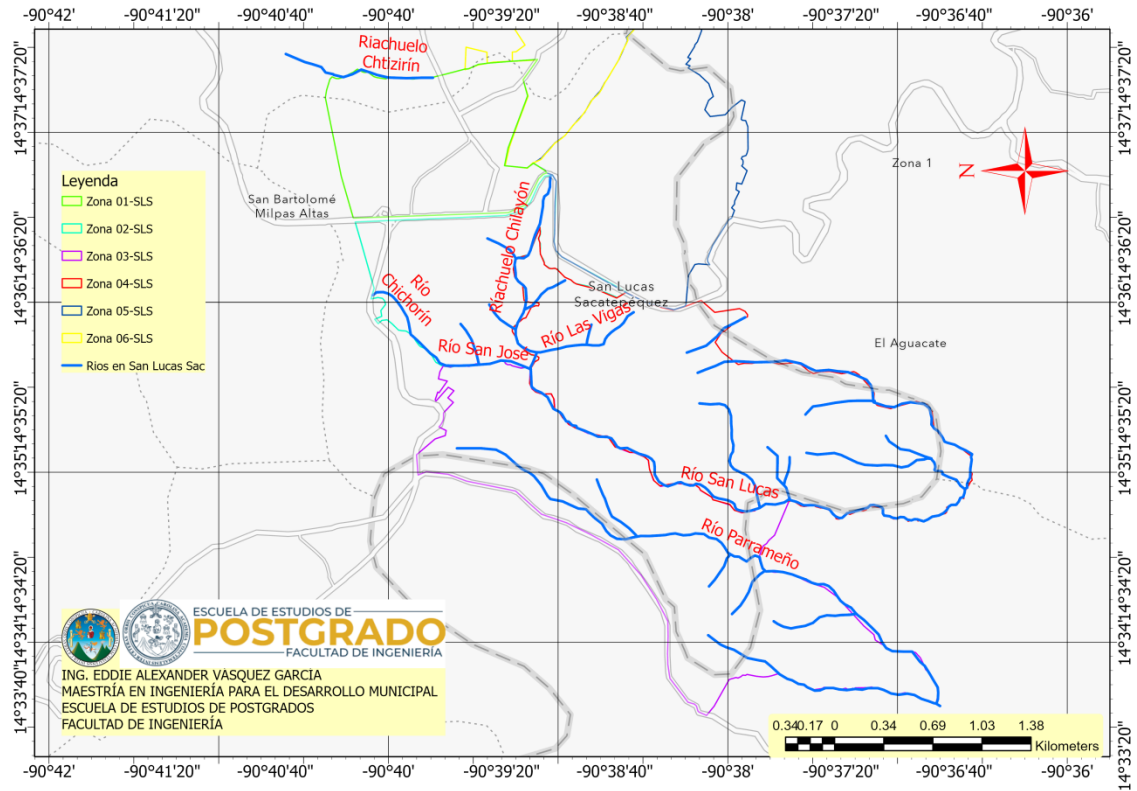
Tabla IV. **Hidrografía de San Lucas Sacatepéquez**

No.	Nombre	Zona	Ubicación	Latitud N	Longitud O
1	Riachuelo Chtizirin	1	Inicio	14°37'19"	90°39'44"
			Fin	14°37'20"	90°40'20"
2	Río Chichorín	2	Inicio	14°36'03"	90°40'06"
			Fin	14°35'49"	90°39'52"
3	Río San José	2	Inicio	14°35'49"	90°39'52"
			Fin	14°35'36"	90°39'10"
4	Riachuelo Chilayón	2; 4	Inicio	14°36'45"	90°39'03"
			Fin	14°35'36"	90°39'10"
5	Río Las Vigas	4	Inicio	14°35'57"	90°38'33"
			Fin	14°35'42"	90°39'08"
6	Río San Lucas	3; 4	Inicio	14°35'36"	90°39'10"
			Fin	14°34'54"	90°36'36"
7	Río Parrameño	3	Inicio	14°35'09"	90°39'36"
			Fin	14°33'39"	90°36'46"

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV se detallan las coordenadas de latitud y longitud de cada cuerpo receptor encontrado en el municipio, el principio y el fin, en el caso de los ríos que atraviesan el municipio, la coordenada final corresponde al tramo del río en el límite del municipio para tener datos geográficos dentro de la jurisdicción del mismo y que puedan servir para referencia.

Figura 22. Hidrografía de San Lucas Sacatepéquez



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 22 se muestra la hidrografía del municipio, donde se observa que, en su jurisdicción, esta se encuentra conformada únicamente por riachuelos, ríos y sus respectivas corrientes intermitentes, que pueden servir como cuerpos receptores para la disposición de aguas residuales luego de haber pasado por un sistema de tratamiento.

En esta figura se observa que no existen otros cuerpos de agua como lagunas, lagos, embalses naturales, ni otros que se desarrollan al sur del país, como manglares o esteros.

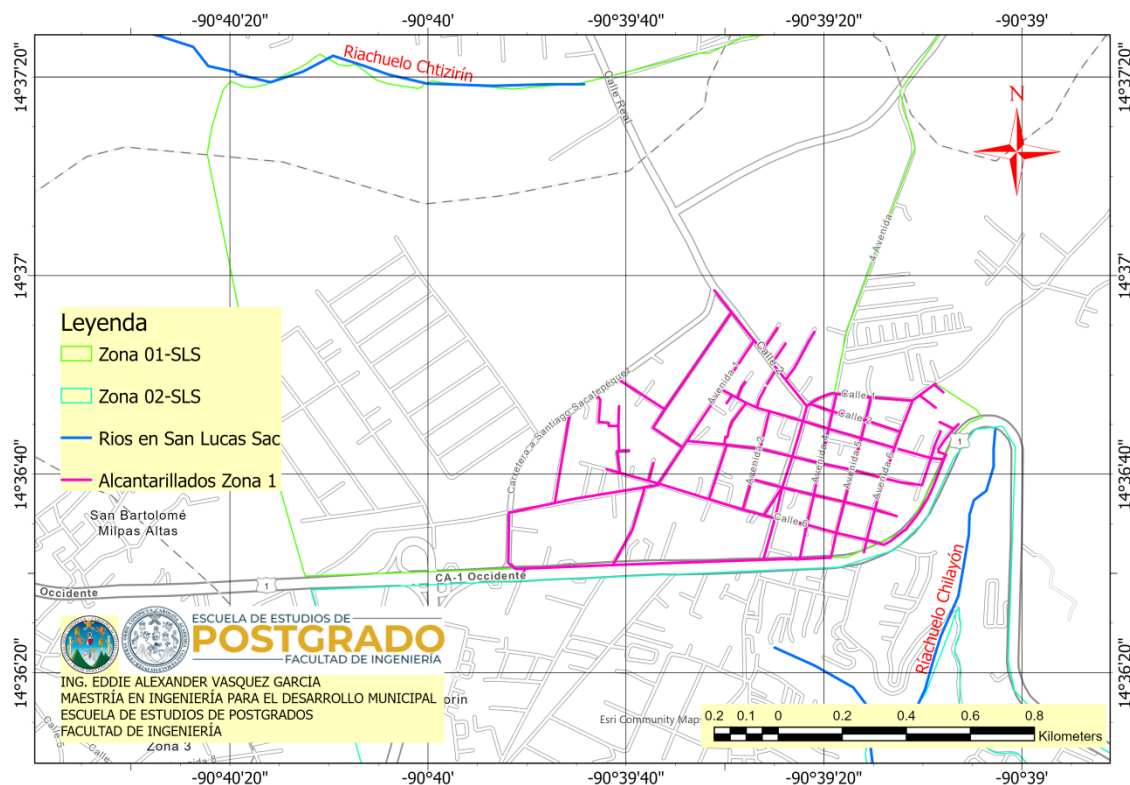
4.3. Elaboración de planos y mapas finales

Estos mapas están compuestos por la superposición de las capas de alcantarillados, puntos de descarga e hidrografía del municipio para realizar una interpolación de datos y obtener las áreas estratégicas para el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.3.1. Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 1

En la siguiente figura se muestran las áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en la zona 1.

Figura 23. Áreas estratégicas en zona 1 de San Lucas Sacatepéquez



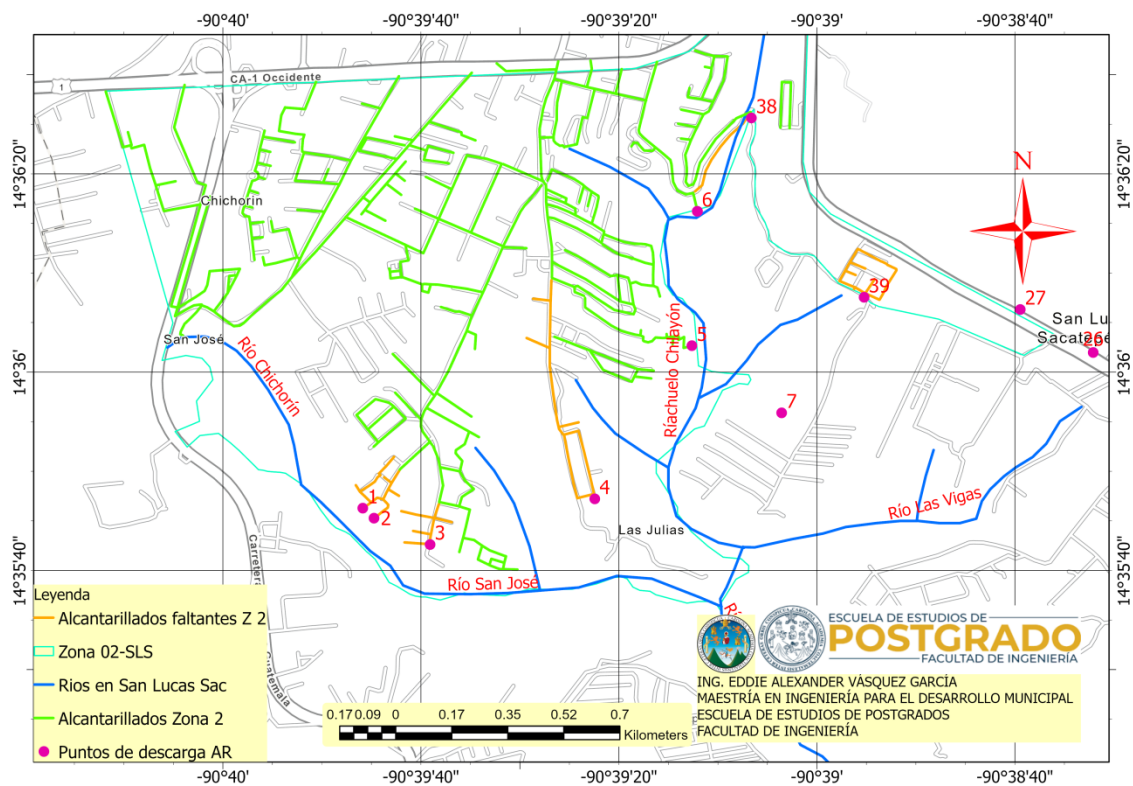
Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 23 se muestra el área geográfica de la zona 1, interpolando alcantarillados y cuerpos receptores, no se muestran puntos de descarga debido a que no existen en esta zona.

4.3.2. Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 2

En la siguiente figura se muestran las áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en la zona 2.

Figura 24. **Áreas estratégicas en zona 2 de San Lucas Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 24 interpolamos los datos de puntos de descarga de la zona 2 y cuerpos receptores de estos, por lo que se determinó que los lugares para establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales en esta zona son:

Tabla V. **Áreas estratégicas en zona 2**

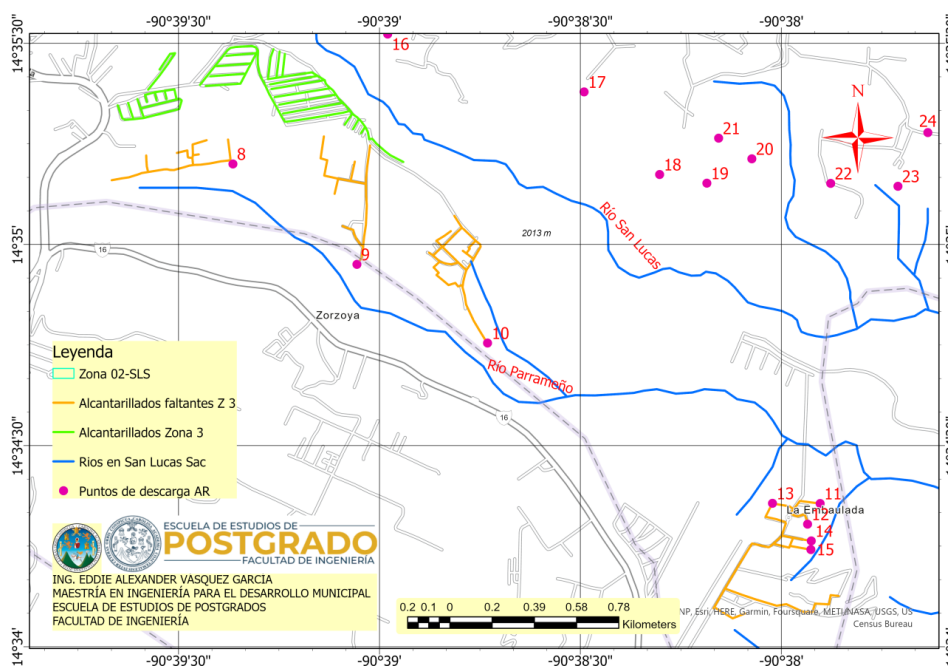
No.	Nombre	Latitud	Longitud	Cuerpo receptor
3	Caserío San José 1	14°35'43"	90°39'39"	Río San José
4	Caserío San José 2	14°35'47"	90°39'22"	Río San José
5	Cantón Reforma	14°36'03"	90°39'13"	Riachuelo Chilayón
38	Camino a Sacurun	14°36'26"	90°39'07"	Riachuelo Chilayón

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 3

En la siguiente figura se muestran las áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en la zona 3.

Figura 25. **Áreas estratégicas en zona 3 de San Lucas Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 25 se realizó la interpolación de los datos de puntos de descarga de la zona 3 y cuerpos receptores de estos, por lo que se determinó que los lugares para establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales en esta zona son:

Tabla VI. **Áreas estratégicas en zona 3**

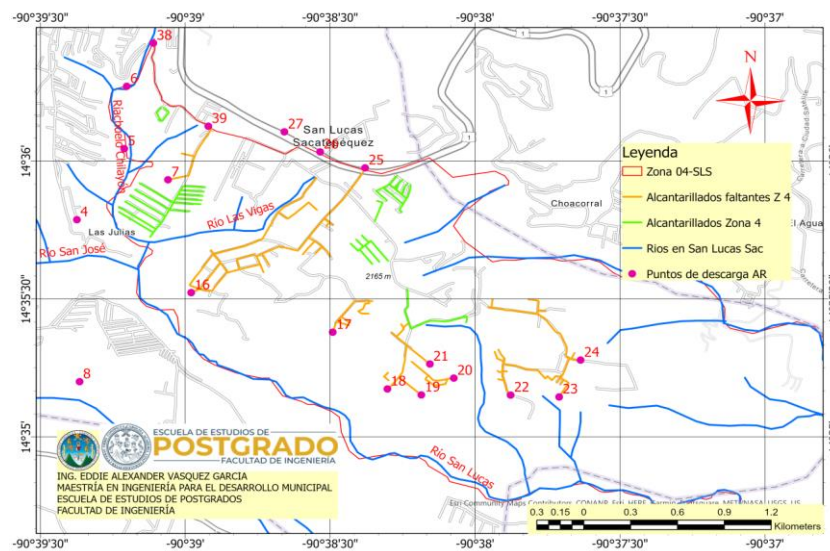
No.	Nombre	Latitud	Longitud	Cuerpo receptor
9	Zorzoyá 1	14°34'57"	90°39'03"	Río Parrameño
10	Zorzoyá 2	14°34'45"	90°38'44"	Río Parrameño
11	La Embaulada 1	14°34'21"	90°37'54"	Río Parrameño
13	La Embaulada 2	14°34'21"	90°38'01"	Río Parrameño
14	La Embaulada 3	14°34'16"	90°37'56"	Río Parrameño

Fuente: elaboración propia.

4.3.4. Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 4

En la figura 26 se muestran las áreas estratégicas para sistemas de tratamiento zona 4.

Figura 26. **Áreas estratégicas en zona 4 de San Lucas Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 26 se interpolaron los datos de puntos de descarga de la zona 3 y cuerpos receptores de estos, por lo que se determinó que los lugares para establecer sistemas de tratamiento de aguas residuales en esta zona son:

Tabla VII. **Áreas estratégicas en zona 4**

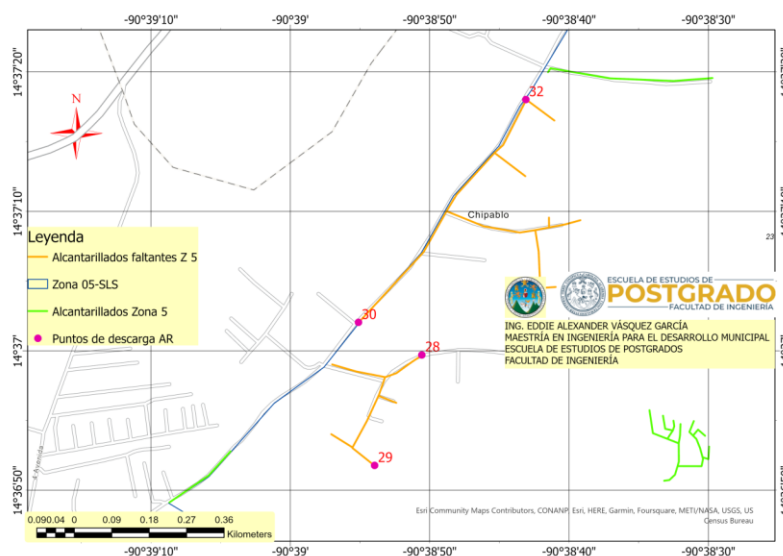
No.	Nombre	Latitud	Longitud	Cuerpo receptor
7	Cañadas	14°35'56"	90°39'04"	Riachuelo Chilayón
16	Choacorrall 1	14°35'31"	90°38'59"	Río San Lucas
17	Choacorrall 2	14°34'21"	90°37'54"	Río San Lucas
20	Choacorrall 3	14°35'13"	90°38'04"	Río San Lucas
22	Sara de la Hoz	14°35'09"	90°37'53"	Río San Lucas
23	Los Ramírez 1	14°34'09"	90°37'43"	Río San Lucas
24	Los Ramírez 2	14°35'17"	90°37'38"	Río San Lucas

Fuente: elaboración propia.

4.3.5. Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 5

A continuación, se presentan las áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en la zona 5.

Figura 27. **Áreas estratégicas en zona 5 de San Lucas Sacatepéquez**



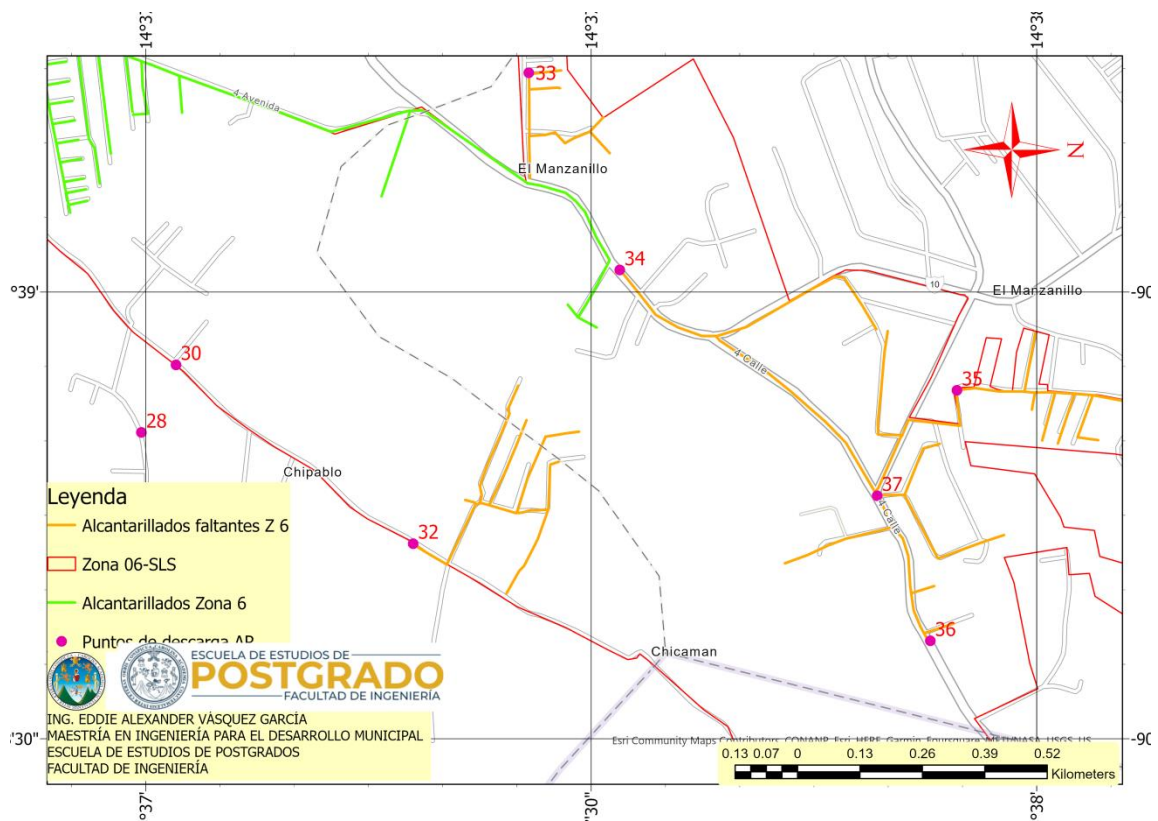
Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 27 observamos que la zona 5 no posee ningún cuerpo receptor en su jurisdicción, por lo que no existe ningún área para el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Las aguas que se generan en esta zona, es necesario que se conduzcan hacia otro sistema de alcantarillado sanitario.

4.3.6. Áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 6

En la siguiente figura se presentan las áreas estratégicas para sistemas de tratamiento en zona 6.

Figura 28. **Áreas estratégicas en zona 6 de San Lucas Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

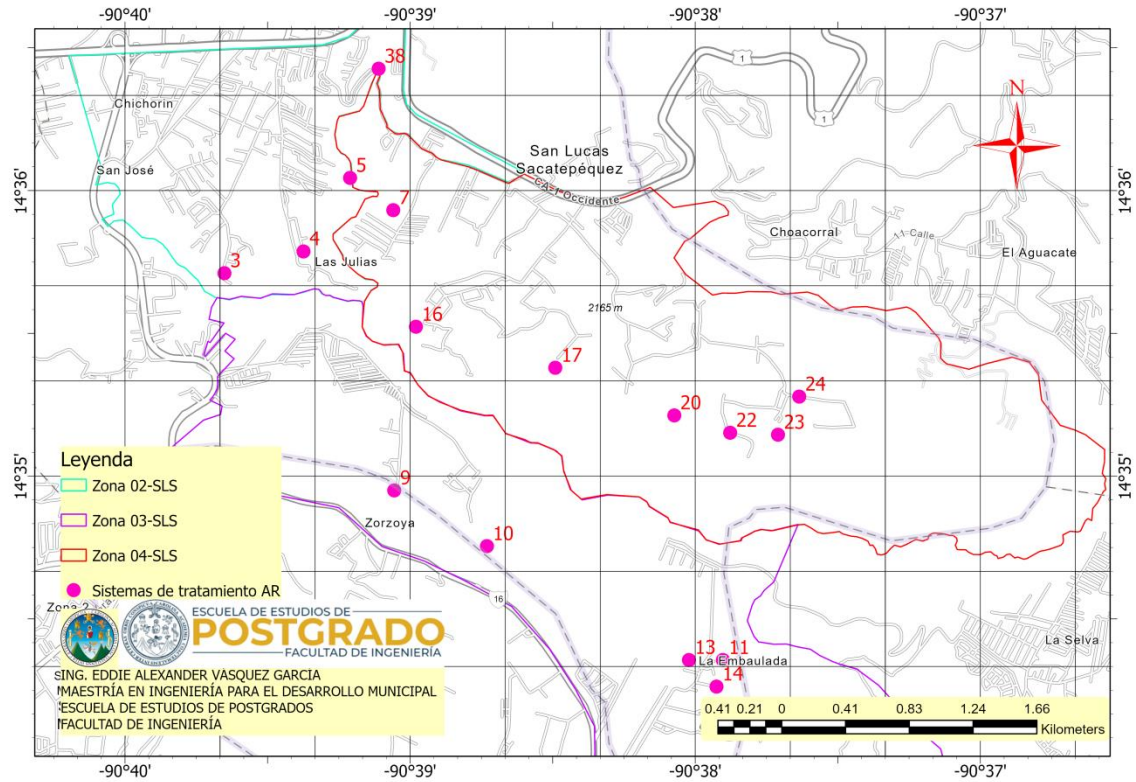
En la figura 28 observamos que la zona 6, al igual que la zona 5, no posee ningún cuerpo receptor dentro de su jurisdicción, por lo que algunos de sus sistemas se tendrán que conectar a los colectores de otros sistemas de alcantarillado sanitario existente, aguas abajo.

La zona 6 por encontrarse en la parte alta del municipio se puede conectar en colectores en la parte baja, sin embargo, hay pequeñas depresiones que obligan a establecer algunos sistemas de bombeo de aguas residuales.

4.3.7. Áreas estratégicas para la planificación de sistemas de tratamiento

Son un total de 16 áreas estratégicas las cuales se ubican en las zonas 2, 3 y 4, zonas que se ubican en la parte baja del municipio y conecta con la subcuenca del río San Lucas.

Figura 29. Áreas para el establecimiento de sistemas de tratamiento



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 29 se indican las 16 áreas para el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, concentrados en las zonas de más baja latitud del municipio. Las características de estos puntos se indican en las tablas V, VI y VII, indicando las coordenadas geográficas de cada punto y el cuerpo receptor donde se podrán descargar las aguas.

Tabla VIII. **Descripción de áreas estratégicas en zona 2**

	Sistema de tratamiento de aguas residuales No.			
	3	4	5	38
Identificación				
Área disponible (m²)	4,900.00	4580.00	4,185.00	2,300.00
Comunidad o Centro poblado	Caserío San José	Caserío San José	Cantón Reforma	Aldea Choacorrall
Cuerpo receptor	Río San José	Río San José	Riachuelo Chilayón	Riachuelo Chilayón
Tipo de cuerpo receptor	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial
Ubicación geográfica	14°35'43" N 90°39'39" O	14°35'47" N 90°39'22" O	14°36'03" N 90°39'13" O	14°36'26" N 90°39'07" O
Dirección	Sur	Sur	Este	Este
No. de sistemas conectados	3	1	1	2

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se indica la descripción de cada área estratégica que se determinó en la zona 2 del municipio.

Tabla IX. **Descripción de áreas estratégicas en zona 3**

	Sistema de tratamiento de aguas residuales No.				
	9	10	11	13	14
Departamento					
Área (m²)	5,200.00	2680.00	1240.00	890.00	650.00
Comunidad o Centro poblado	Aldea Zorzoyá 1	Aldea Zorzoyá 1	Aldea Zorzoyá 2	Aldea La Embaulada	Aldea La Embaulada
Cuerpo receptor	Río Parrameño	Río Parrameño	Río Parrameño	Río Parrameño	Río Parrameño
Tipo de cuerpo receptor	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial
Ubicación geográfica	14°34'57" N 90°39'03" O	14°34'45" N 90°38'40" O	14°34'21" N 90°37'54" O	14°34'21" N 90°38'01" O	14°34'16" N 90°37'56" O
Dirección	Sur	Sur	Este	Este	Este
No. de sistemas conectados	2	1	2	1	2

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla IX se indica la descripción de cada área estratégica que se determinó en la zona 3 del municipio.

Tabla X. **Descripción de áreas estratégicas en zona 4**

	Sistema de tratamiento de aguas residuales No.			
	7	16	17	20
Departamento				
Área (m²)	680.00	2890.00	1580.00	4210.00
Comunidad o Centro poblado	Cañadas de Choacorral	Sector Los Dieguéz	Aldea Choacorral	Calle del Oratorio
Cuerpo receptor	Riachuelo Chilayón	Río San Lucas	Río San Lucas	Río San Lucas
Tipo de cuerpo receptor	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial
Ubicación geográfica	14°35'56" N 90°39'04" O	14°35'31" N 90°38'59" O	14°34'21" N 90°37'54" O	14°35'13" N 90°38'04" O
Dirección	Oeste	Oeste	Sur	Sur
No. de sistemas conectados	2	1	1	4

Fuente:

elaboración propia.

Tabla XI. **Interrelación entre puntos de descarga y cuerpos receptores**

Área estratégica	Puntos de descarga que convergen	Cuerpo receptor
3	1, 2, 3	Río San José
4	4	Río San José
5	5	Riachuelo Chilayón
38	6, 38	Riachuelo Chilayón
9	8, 9	Río Parrameño
10	10	Río Parrameño
11	11, 12	Río Parrameño
13	13	Río Parrameño
14	14, 15	Río Parrameño
7	7, 27, 26	Riachuelo Chilayón
16	16,25	Río San Lucas
17	17	Río San Lucas
20	18,19,20,21	Río San Lucas
22	22	Río San Lucas
23	23	Río San Lucas
24	24	Río San Lucas

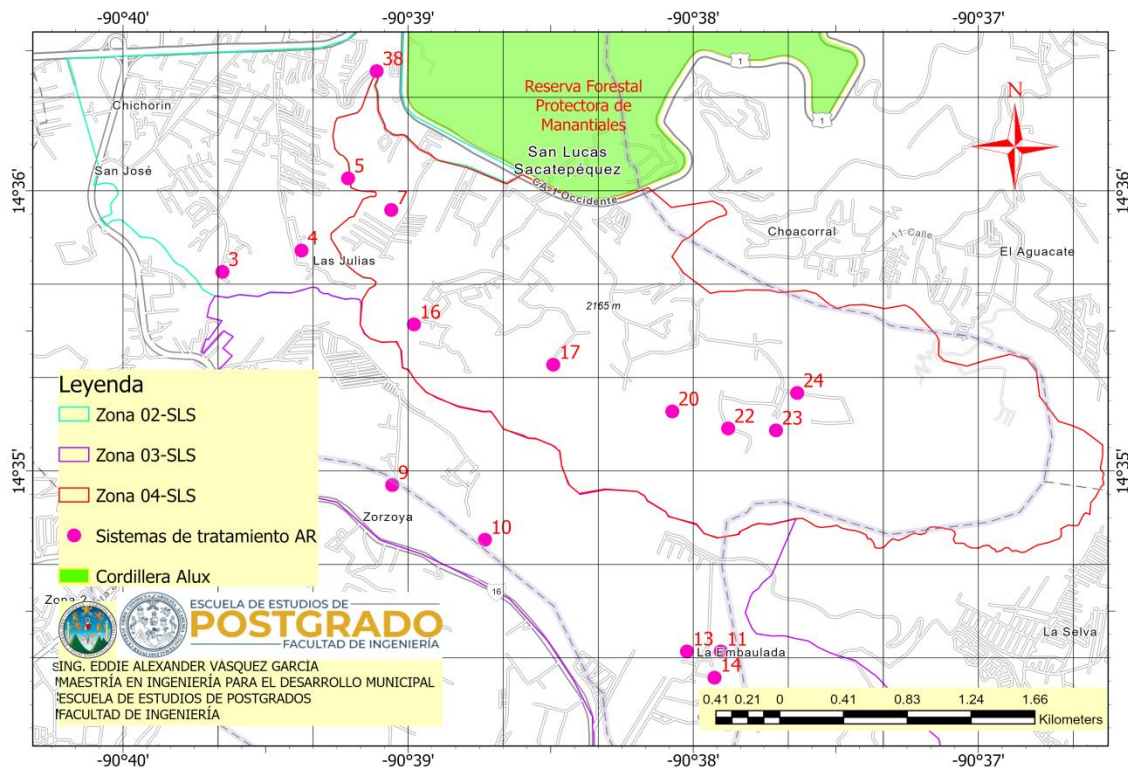
Fuente: elaboración propia.

En la tabla XI se indican los puntos de descarga que pueden converger en un mismo punto, llevándolos así hacia el área estratégica propuesta; también se indica el cuerpo receptor en donde se pueden desfogar las aguas luego de haber recibido su respectivo tratamiento.

4.4. Análisis de áreas estratégicas en Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas

El SIGAP tiene georreferenciadas todas las áreas protegidas del país, por lo que previo a la ejecución de cada proyecto solicita que se verifique su ubicación dentro del alguna área de estas.

Figura 30. Áreas protegidas en San Lucas Sacatepéquez



Fuente: elaboración propia, usando ArcGIS.

En la figura 30 se observa que en el municipio tiene influencia la Reserva Protectora de Manantiales Cordillera Alux, establecida en la base de datos del SIGAP, en este mismo plano se sobrepuso la capa de las áreas para sistemas de tratamiento obtenidas en la figura 29; aunque estos puntos no se encuentren en el área protegida, siempre se necesita presentar la información de cada punto de acuerdo con lo solicitado por el SIGAP (Apéndices 1, 2 y 3).

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Identificación de la ubicación de las descargas de aguas residuales de los sistemas de alcantarillado sanitario existentes y por construir en el municipio

San Lucas Sacatepéquez por ser un municipio cercano a la ciudad capital ha tenido un alto crecimiento demográfico, lo que ha generado alta demanda en cuanto a los servicios municipales básicos para que las concentraciones poblacionales tengan buena calidad de vida; dividido administrativamente en seis zonas, en todas hay centros poblados que exigen cada vez más un adecuado servicio público. Previo a la identificación de los alcantarillados sanitarios existentes en el municipio, se procedió a la investigación de los sistemas de tratamiento existentes en el mismo, solicitando a través de acceso a la información pública de la municipalidad la información pertinente; la información obtenida demostró que en el municipio existen siete plantas de tratamiento, ubicadas en las zonas 2 y 4, de estas siete plantas seis descargan sus aguas hacia corrientes permanentes como ente receptor caracterizados como riachuelos o ríos y una desfoga las aguas tratadas hacia pozos de absorción.

En la investigación de gabinete realizada en la DMP se encontró que solamente tienen registro de los alcantarillados sanitarios que se han construido o mejorado a partir del año 2012 a la fecha, generando una coyuntura en el manejo de la información de la infraestructura del municipio, cuando se ingresó esta información en ArcGIS, no representaba ni el 20 % de los alcantarillados existentes, estos alcantarillados registrados están distribuidos en las zonas 1 y 2; así mismo, en sus registros no todos los alcantarillados indicaban la planta de

tratamiento hacia donde desfogaban sus aguas, los colectores principales están registrados hasta el alcance del mejoramiento del proyecto.

Durante la fase de investigación de campo se lograron ubicar y determinar el resto de los alcantarillados sanitarios existentes, de los cuales no se tiene registro alguno de su ejecución, por considerarse de proyectos que fueron ejecutados antes de que la informatización empezara a tener auge en los gobiernos locales. De todos los alcantarillados sanitarios existentes actualmente en el municipio y sus respectivos puntos de descarga, registrados y no registrados, dos no están conectados a un sistema de tratamiento de aguas residuales (ver tabla II), por lo que, estos desfogan sus aguas directamente hacia el riachuelo Chilayón sin ningún tipo de tratamiento.

Los sistemas existentes se concentran en las zonas 1 y 2 del municipio, en la primera la mayoría de la población tiene acceso a este servicio municipal, sin embargo, existen dos residenciales privadas que utilizan fosa séptica; la municipalidad, en su oficina de control de la construcción privada, establece a las lotificaciones y urbanizaciones que para su autorización deben de contar con todos los servicios básicos y en el caso del drenaje con una planta de tratamiento de aguas residuales, las residencias que no cuentan con estos servicios se debe a que son de las pioneras en concebirse en el municipio por lo que no pudieron regular estos requisitos.

Por su parte la zona 2, es la continuación de la mayoría de los colectores principales de la zona 1, debido a que se encuentra constituida en la parte alta de la microcuenca del río San Lucas, acá se encuentran los dos puntos de descarga que no tienen tratamiento alguno, afectando directamente los cuerpos de agua, los alcantarillados tributan sus aguas según su pendiente y ubicación hacia las plantas de tratamiento de Chilayón, Chichorín, San José y Montezuma.

En la zona 3 solamente cuentan con alcantarillado las residenciales ubicadas en su jurisdicción, por otra parte, las aldeas Zorzoyá sector 1 y 2 y la aldea La Embaulada carecen del servicio municipal de la recolección, utilizando como vía alterna en algunos casos las fosas sépticas, letrinas y en el peor de los casos las aguas negras corren superficialmente a flor de tierra. En la zona 4 se da el mismo caso, el servicio existe en las residenciales privadas, sin embargo, acá hay dos pequeños sectores que si tienen conexión al alcantarillado municipal y este mismo desfoga sus aguas en las plantas San Gaspar y El Tancón.

En la zona 5 existe un sistema de alcantarillado para el caserío Chipablo, que conecta con la planta de tratamiento Chipablo, las demás áreas pobladas colindan con la zona 1, por lo que algunos de estos se conectan a los colectores de su zona vecina; así mismo, en su colindancia con la zona 4 existen sectores que carecen de alcantarillado sanitario; y por último, con la zona 6 que de igual manera carecen del servicio municipal. El mismo caso se da en la zona 6, ya que no posee ningún sistema de tratamiento en su jurisdicción, la única población que tiene acceso al servicio es la que se ubica al sur de la misma, que colinda con la zona 1, y conecta sus colectores con el colector principal de esta zona.

Luego de la ubicación de todos los alcantarillados existentes mostrados en las figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10 se procedió a la ubicación de los centros poblados donde no tienen acceso al servicio municipal de recolección de aguas servidas, realizando su georreferenciación en hojas cartográficas a través de ArcGIS, y se proyectó la ubicación y dirección del sistema de alcantarillado sanitario que satisfaga la necesidad.

En las figuras 12, 13, 14, 15 y 16 se observan los sistemas de alcantarillado sanitario faltantes en cada zona del municipio; para la planificación

futura de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es necesario considerar en el Plan Multianual de la municipalidad estos alcantarillados faltantes, ya que para el establecimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se deben de considerar todos los puntos de descarga que estén cercanas a su ubicación y poder tener un diseño hidráulico acertado para no hacer futuras conexiones y reducir el período de vida útil de la planta de tratamiento.

Se determinaron un total de 39 puntos de descarga de aguas residuales en el municipio, ubicándolos en mapas con fotografías satelitales para ampliar la perspectiva de planificación y se generó la base de datos con sus respectivas coordenadas geográficas (ver Tabla III).

5.2. Identificación de los principales cuerpos receptores para las descargas de aguas residuales

San Lucas Sacatepéquez se encuentra ubicado dentro de Cuenca del río María Linda que tributa sus aguas hacia la Vertiente del Pacífico (IGN, 2006), sin embargo, todas las aguas de escorrentía superficial de su jurisdicción llegan hacia el río Villalobos a través de la subcuenca del río San Lucas, en donde se conectan varios riachuelos y corrientes intermitentes.

Para el municipio los cuerpos receptores se conforman únicamente por corrientes intermitentes, riachuelos y ríos, los cuales se ubican en las latitudes más bajas dentro de su jurisdicción; por ser un municipio que colinda con la altiplanicie central del país no cuenta con algún otro tipo de cuerpo hidrográfico como lagunas, lagos, esteros, manglares, entre otros.

Su hidrografía como cuerpos receptores para aguas residuales se limita a corrientes superficiales. Al norte de la zona 1 se ubica el inicio del riachuelo Chtizirin, que define el límite entre la Zona 1 del municipio con parte de la zona 6 y el municipio de Santiago Sacatepéquez (ver figura 18).

La zona 2, es una donde existe la mayor concentración de zanjones que dan origen a corrientes intermitentes y se van incorporando a riachuelos y ríos, acá encontramos el riachuelo Chilayón, río Chichorín, río Las Vigas y río San José, los cuales convergen en la latitud más baja de esta zona para conformar el río San Lucas, este a su vez, define el límite territorial entre las zonas 2, 3 y 4 (ver figura 19). En la cartografía del municipio, con base en la interpretación de las curvas de nivel, se lograron determinar cuatro corrientes intermitentes que se conectan con estas corrientes superficiales. Cuatro de las siete plantas de tratamiento existentes en el municipio, están ubicadas en la zona 2 y desfogon las aguas tratadas hacia estos cuerpos receptores.

La zona 3 está delimitada al norte con la zona 4 por el río San Lucas, en su latitud media baja recorre el río Parrameño al cual se incorporan una corriente al sureste de la zona, y cuatro corrientes intermitentes que se encuentran cercanas a los centros poblados en esta zona. El río Parrameño corre superficialmente paralelo al río San Lucas, conectándose entre sí, aguas abajo pero en jurisdicción del municipio de Villa Nueva (ver figura 20).

Por su parte, la zona 4 al sur delimita con la zona 2 mediante el riachuelo Chilayón, y al sur con la zona 3 por el río San Lucas que se ubica en su latitud más baja y al que se une el río Las Vigas; en esta zona existen 3 corrientes de cuarto orden que se conectan al río San Lucas, recorren desde la parte central de la zona hacia el sureste de la misma, existiendo entre ellas también algunas corrientes intermitentes que se determinaron de acuerdo con las curvas de nivel

de la región. En esta zona es importante recalcar que el río San Lucas recorre completamente en el sur de su jurisdicción de oeste a este (ver figura 21).

Las zonas 5 y 6 se encuentran concebidas en las latitudes más altas del municipio, en las faltas de la reserva Protectora de Manantiales Cordillera Alux, por lo que poseen las elevaciones más altas en metros sobre el nivel del mar; estas zonas no poseen ningún cuerpo receptor alguno hacia donde puedan desembocar sus aguas, existen zanjones que parecieran formar corrientes intermitentes, sin embargo, no conectan con ninguna escorrentía superficial. Las zonas 5 y 6 colindan con los municipios de Santiago Sacatepéquez y Mixco.

Los cuerpos receptores encontrados en el municipio se registraron en una base de datos con sus respectivos nombres, ubicación administrativa y geográfica, tanto del inicio como del fin de su cauce principal dentro de la jurisdicción del municipio (ver tabla IV). Estos cuerpos receptores están ubicados en ortofotos de la jurisdicción del municipio para poder ampliar la perspectiva de su ubicación geográfica y la cercanía a los centros poblados (ver figura 22).

5.3. Definición de la interrelación de la ubicación de las descargas de aguas residuales con los cuerpos receptores del municipio

Al tener la información completa de la ubicación geográfica de los puntos de descarga de aguas residuales del municipio (ver tabla III) y poder ubicarlos en fotografías satelitales de acuerdo con cada zona de este, podemos obtener una perspectiva de los que pueden tener una zona en común para poder unificarlos y establecer un solo sistema de tratamiento de aguas residuales.

Previo a establecer al área estratégica para un sistema de tratamiento, tomando en cuenta los puntos de descarga, también es necesario identificar la

hidrografía del municipio para poder determinar cuáles pueden funcionar como cuerpos receptores o los lugares potenciales como micro cuencas que pueden generar corrientes intermitentes para luego converger en un riachuelo o río.

En la zona 1 no se encontró ninguna descarga de aguas residuales, por encontrarse en un valle y la parte media de las elevaciones mínimas y máximas del municipio, geográficamente, tampoco posee algún río que funcione como cuerpo receptor en donde se pueda establecer un sistema de tratamiento de aguas residuales; todos los colectores de esta zona dirigen sus aguas hacia sistemas ubicados en la zona 2, ya que es lo más factible por la ausencia de ríos (ver figura 23).

En la zona 2 se lograron interpolar en las fotografías satelitales las siete descargas de aguas residuales y los tres cuerpos receptores, de estos se determinó que las descargas 1, 2 y 3 se pueden unificar en un solo punto para generar una sola descarga y establecer un sistema de tratamiento en esta área y su cuerpo receptor sea el río San José, las descargas 4, 5 y 6 debido su distancia entre sí, es imposible unificarlas, por lo que se propone un sistema de tratamiento independiente para cada una (ver figura 24) y que su cuerpo receptor sea el riachuelo Chilayón (ver tabla V).

En la zona 3, también por la largas distancias entre sí de los centros poblados, la propuesta de las áreas para el establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales se unificarán las descargas 8 y 9 en un mismo sistema de tratamiento cuyo cuerpo receptor sea el río Parrameño; para el caso de la descarga 10 su sistema de tratamiento será independiente y también se descargará en el río Parrameño, ambos sistemas de tratamiento se encuentran ubicados en la aldea Zorzoyá, el primero en el sector 1 y el restante en el Sector 2; en el caso de las descargas ubicadas en la aldea La Embaulada, los puntos

11 y 12 unificarlos, el 13 de forma independiente y las restantes 14 y 15 unificarlas también para las áreas de sistemas de tratamiento y su cuerpo receptor serán corrientes intermitentes que conectan con el río Parrameño, en total en la zona 3 se proponen 5 áreas para el establecimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales (ver tabla VI).

La zona 4 es una de las que más presencia tiene de centros poblados que aún carecen de servicio de alcantarillado sanitario municipal, las pendientes del terreno son muy pronunciadas y posee gran cantidad de corrientes en su jurisdicción que funcionarán como cuerpos receptores de aguas residuales, en este caso la descarga 39 de la zona 1 se unificará con la descarga 7 para establecer un sistema de tratamiento para estas dos; para las descargas 16 y 17 se propone un sistema independiente para cada una y que de las aguas tratadas se descarguen en el río San Lucas.

Las descargas 18, 19, 20 y 21 se conectarán las cuatro entre sí, en la ubicación de la descarga 20 para poder establecer aquí el sistema de tratamiento de sus aguas residuales, el cuerpo receptor será una corriente de segundo orden que se conecta directamente en el río San Lucas; finalmente las descargas 22, 23 y 24, debido a la distancia entre sí, se propone un sistema de tratamiento independiente para cada una y en este caso las primeras dos descargarán sus aguas tratadas a una corriente de segundo orden del río San Lucas y la restante a una corriente intermitente que conecta a otra de segundo orden para converger en el río San Lucas.

La zona 4 tiene en su jurisdicción la mayor cantidad de áreas de sistemas de tratamiento de aguas residuales propuestas, sumando un total de siete plantas, de las cuales seis descargan sus aguas al río San Lucas y la restante al riachuelo Chilayón (ver tabla VII).

En la zona 5 los puntos de descarga de aguas residuales se encuentran concentrados al oeste y al sur de la zona, y en estos puntos no hay cerca ninguna corriente que sirva como cuerpo receptor, por lo que la propuesta para estos centros poblados tenga acceso al servicio municipal se propone que las descargas 25, 26 y 27 se conecten hacia los colectores de los sistemas de la Zona 4, las cuales se llevarán hacia el sistema de tratamiento de la descarga 7. Para los centros poblados ubicados al oeste se propone que sus aguas sean llevadas hacia la planta de tratamiento Chilayón en una tubería independiente y que no se conecte a ninguna de las existentes, la propuesta se basa en una conducción independiente y establecer un nuevo sistema de tratamiento paralelo a la Planta Chilayón o ya sea la ampliación de la misma, condición se tiene que evaluar un experto sanitarista (ver figura 27).

De igual manera que en la zona 5, la zona 6 necesita llevar sus descargas 35 y 36, mediante un sistema de bombeo, hacia la descarga 37 de donde la propuesta se basa en un colector independiente que atraviese la zona 1 y también conecte sus aguas hacia un sistema de tratamiento paralelo a la Planta Chilayón o que se realice la ampliación de la misma, condición se debe ser evaluada por un experto sanitarista; la descarga 33 también se debe de elevar hacia el colector con un sistema de bombeo (ver figura 28).

Se realizó una sobreposición de la capa de las áreas propuestas para los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las capas de áreas protegidas del SIGAP, y ningún sistema queda dentro de la Reserva Protectora de Manantiales Cordillera Alux, por lo que, desde el punto de vista ambiental no existen inconveniente de planificación de los sistemas en las áreas propuestas.

CONCLUSIONES

1. Se identificó un total de 16 áreas donde se deben planificar sistemas de tratamiento para las descargas de aguas residuales, estas se concentran en las zonas 2, 3 y 4; ninguna de estas áreas queda geográficamente dentro de algún área protegida establecida por el SIGAP, por lo que su planificación no tendrá complicaciones en el tema ambiental.
2. La municipalidad tiene registro únicamente de los sistemas de alcantarillado sanitario que se han construido o mejorado a partir del 2012 a la fecha, actualmente en el municipio existen 2 descargas de aguas residuales, sin embargo, cuando todas las comunidades tengan acceso al servicio existirá un total de 39 descargas.
3. San Lucas Sacatepéquez se encuentra ubicado en la subcuenca del río Villalobos, por lo que, todas sus aguas tributan hacia este cuerpo receptor, el municipio posee una red con densidad regular de riachuelos y ríos en sus latitudes más bajas, encontrado un total de 5 ríos, 1 riachuelo y varias corrientes intermitentes.
4. Mediante la sobre posición de capas de puntos de descarga y cuerpos receptores en hojas cartográficas y fotografías satelitales, se determinó que existen puntos de descarga que pueden converger en un área en común, para la planificación de los sistemas de tratamiento, que desfogue las aguas tratadas hacia un cuerpo con corriente superficial.

RECOMENDACIONES

1. Aumentar la construcción de los sistemas de alcantarillado sanitario y su respectivo sistema de tratamiento para los centros poblados que no cuentan con acceso a este servicio y aumentar la calidad de vida mejorando sus condiciones sanitarias.
2. Hacer avalúos para la adquisición de predios municipales cuya ubicación esté de acuerdo con este estudio y que cumpla con todos los requisitos topográficos, geométricos y legales para la de sistemas de tratamiento de aguas residuales.
3. Elaborar planos en formato CAD con todas las características y especificaciones de los sistemas de alcantarillado sanitario indicados en este estudio para enriquecer la base de datos y poder tener un control específico de los que necesitan urgentemente el mejoramiento o construcción, en el caso de las comunidades que aún no tienen acceso al servicio municipal.
4. Destinar el total o la mayoría de los fondos económicos provenientes de Consejo Departamental de Desarrollo para la ejecución de proyectos de saneamiento ambiental, es importante hacer ver la necesidad de cumplir con el saneamiento ambiental a todos los órganos que componen el Consejo Municipal de Desarrollo.

REFERENCIAS

1. Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Diario de Centroamérica. Guatemala. 5 de mayo de 2006.
2. Acuerdo Gubernativo 58-2019. Reformas al Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha 5 de mayo del año 2006, Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Diario de Centroamérica. Guatemala. 30 de abril de 2019.
3. Acuerdo Ministerial 105-2008. Manual general del reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Diario de Centroamérica. Guatemala. 9 de enero de 2008.
4. Acuerdo Ministerial 37-2021. Creación del sistema general de entes generadores de aguas residuales, denominado (SIGEGAR). Diario de Centroamérica. Guatemala. 29 de enero de 2021.
5. Aguilar, K. I. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales provenientes del proceso de lavado de vehículos en un car wash*. (Tesis de maestría). Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
6. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (2020). *Procedimiento para determinar si mi terreno está dentro del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP)*. Guatemala: Autor.

7. Cotuc, O. B. (2017). *Modelo de gestión para la prestación del servicio de alcantarillado sanitario en los municipios de la mancomunidad gran ciudad del sur del departamento de Guatemala, caso de análisis, municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala*. (Tesis de maestría). Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
8. Gálvez, J. R. (2007). *Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales sector Cuatro Camino y diseño del mercado de la aldea El Pajón, municipio de Santa Catarina Pinula, departamento de Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
9. Ibañez et al., (2009). *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Ambiente, y Medio Rural y Marino.
10. Instituto de Fomento Municipal (2020). *Guía de implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Guatemala: Autor.
11. Instituto de Fomento Municipal (2020). *Guía técnica para implementar plantas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala*. Guatemala: Autor.
12. Letini. E. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Guatemala: Naciones Unidas.

13. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (2018). Norma Técnica DRPSA-001-2018. Guatemala: Autor.
14. Municipalidad de Guatemala, (2020). Caracterización de descargas del municipio de Guatemala. Guatemala: EMPAGUA. Recuperado de http://www.muniguate.com/archivos/estudios2020/1_Estudio_Aguas_Residuales.pdf
15. Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez (2010). *Plan de desarrollo de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez*. Guatemala: Autor.
16. Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez (2019). Monografía de San Lucas Sacatepéquez. Guatemala: Autor.
17. Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez (2021). Plan estratégico institucional, Plan operativo multianual 2021-2025 y Plan operativo anual 2021. Guatemala: Autor.
18. Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillados (2014). *Actualización de los criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la Z.M.G.* Guatemala: Autor.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Información de áreas para sistemas de tratamiento en zona 2**

	Sistema de tratamiento de aguas residuales No.			
	3	4	5	38
Departamento	Sacatepéquez			
Municipio	San Lucas Sacatepéquez			
Cuerpo receptor	Río San José	Río San José	Riachuelo Chilayón	Riachuelo Chilayón
Tipo de cuerpo receptor	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial
Ubicación geográfica	14°35'43" N 90°39'39" O	14°35'47" N 90°39'22" O	14°36'03" N 90°39'13" O	14°36'26" N 90°39'07" O
Dirección	Sur	Sur	Este	Este
No. de sistemas conectados	3	1	1	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Información de áreas para sistemas de tratamiento en zona 3**

	Sistema de tratamiento de aguas residuales No.				
	9	10	11	13	14
Departamento	Sacatepéquez				
Municipio	San Lucas Sacatepéquez				
Cuerpo receptor	Río Parrameño	Río Parrameño	Río Parrameño	Río Parrameño	Río Parrameño
Tipo de cuerpo receptor	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial
Ubicación geográfica	14°34'57" N 90°39'03" O	14°34'45" N 90°38'40" O	14°34'21" N 90°37'54" O	14°34'21" N 90°38'01" O	14°34'16" N 90°37'56" O
Dirección	Sur	Sur	Este	Este	Este
No. de sistemas conectados	2	1	2	1	2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Información de áreas para sistemas de tratamiento en zona 4

	Sistema de tratamiento de aguas residuales No.						
Departamento	7	16	17	20	22	23	24
Municipio	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez
	San Lucas	San Lucas	San Lucas	San Lucas	San Lucas	San Lucas	San Lucas
	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez	Sacatepé quez
Cuerpo receptor	Riachuelo Chilayón	Río San Lucas	Río San Lucas	Río San Lucas	Río San Lucas	Río San Lucas	Río San Lucas
Tipo de cuerpo receptor	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial	Corriente superficial
Ubicación geográfica	14°35'56 " N	14°35'31 " N	14°34'21 " N	14°35'13 " N	14°35'09 " N	14°34'09 " N	14°35'17 " N
	90°39'04 " O	90°38'59 " O	90°37'54 " O	90°38'04 " O	90°37'53 " O	90°37'43 " O	90°37'38 " O
Dirección	Oeste	Oeste	Sur	Sur	Este	Este	Este
No. de sistemas conectados	2	1	1	4	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Acuerdo Gubernativo 110-2016



Fuente: Instituto de Fomento Municipal. (2021). *Guía técnica para implementar plantas de tratamiento de aguas residuales en Guatemala*. Consultado el 20 de septiembre de 2021. Recuperado de <http://www.infom.gob.gt/Documentos-Noticias/Guia-tecnica-implementar-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-Guatemala.pdf>

