



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

**INVENTARIO DE DESCARGAS Y DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN ZAPOTITLÁN,  
RETALHULEU**

**Yilda Aranza López Pérez**

Asesorado por el Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Guatemala, noviembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INVENTARIO DE DESCARGAS Y DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN ZAPOTITLÁN,  
RETALHULEU**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**YILDA ARANZA LÓPEZ PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| DECANA     | Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada |
| VOCAL I    | Ing. José Francisco Gómez Rivera      |
| VOCAL II   | Ing. Mario Renato Escobedo Martínez   |
| VOCAL III  | Ing. José Milton de León Bran         |
| VOCAL IV   | Br. Luis Diego Aguilar Ralón          |
| VOCAL V    | Br. Christian Daniel Estrada Santizo  |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez       |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

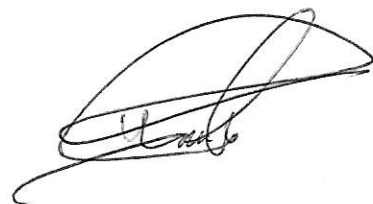
|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco    |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Eduardo Portillo España     |
| EXAMINADOR | Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Fuentes Roca             |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López     |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**INVENTARIO DE DESCARGAS Y DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN ZAPOTITLÁN,  
RETALHULEU**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha Guatemala, 29 de octubre de 2018.



**Yilda Aranza Lopez Perez**

Guatemala 14 de octubre de 2019

**Ingeniero**  
**Pedro Antonio Aguilar Polanco**  
**Jefe del Departamento de Hidráulica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Presente**

Estimado Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente me permito informar que, en calidad de asesor nombrado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, he procedido a la revisión final del trabajo de graduación titulado INVENTARIO DE DESCARGAS Y DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN ZAPOTITLÁN, RETALHULEU, desarrollado por la estudiante universitaria Yilda Aranza López Pérez, Carné No. 2014-04377, determinando que el mismo cumple con los requisitos establecidos, por lo que de la manera más atenta solicito se autorice continuar con los trámites pertinentes para la aprobación final.

Atentamente,



*Dennis Salvador Argueta Mayorga*  
INGENIERO CIVIL  
MAESTRO EN INGENIERIA VIAL  
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA  
DOCTOR EN CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD  
COLEGIADO 8297

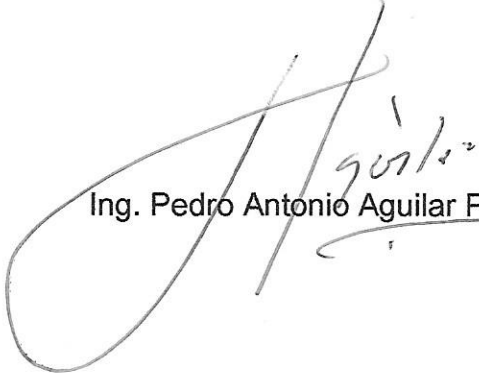
**Dr. Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga**

**Asesor**


**No. de Colegiado: 8297**



El director de la Escuela de Ingeniería Civil y Jefe del Departamento de Hidráulica, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga, al trabajo de graduación de la estudiante Yilda Aranza López Pérez **INVENTARIO DE DESCARGAS Y DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN ZAPOTITLÁN, RETAIHULEU** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



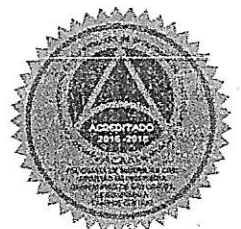
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DIRECTOR  
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, octubre 2019

/mrm.





La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **INVENTARIO DE DESCARGAS Y DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PÚBLICAS Y PRIVADAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN ZAPOTITLÁN, RETALHULEU**, presentado por la estudiante universitaria: **Yilda Aranza López Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrella  
Decana



Guatemala, Noviembre de 2019

AACE/asga  
cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Mis padres**

Por haberme enseñado que con esfuerzo y humildad se puede llegar lejos.

**Mis hermanas**

Por motivarme siempre a ser mejor persona y por los momentos llenos de alegría.

**Mis abuelas**

Por ser mujeres de ejemplo y por todo el amor.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

|   |  |
|---|--|
| <b>Dios</b>                                   | Por bendecirme con una vida rodeada de amor y grandes oportunidades.   |
| <b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.   |
| <b>Mis padres</b>                             | Oscar López y Evelin de López, por haberme brindado los recursos y valores para formarme como profesional y ser humano.  |
| <b>Mis hermanas</b>                           | Evelyn y Ariana López, por su amor, apoyo incondicional y por siempre creer en mí.   |
| <b>Mi familia</b>                             | Aranza Santos, Carminia Pérez, Aranza Delfina, Erick y Linda Boj por brindarme un espacio en su hogar, por el apoyo y todo el cariño.  |
| <b>Mis amigos</b>                             | Ester Barrios, por hacer mejores los momentos más difíciles y por su amistad. A Jorge Maldonado, por su incondicionalidad y amor. A Sandy Lemus, Pablo García, Rody Cardona, Prince Rivas, Julio Villagrán, Ismar Monroy y Elder Chocoj, por ser parte de mi vida. |

**Ing. Omar Medrano**

Por brindarme su apoyo en todo momento, por compartir su conocimiento y por su valiosa amistad.

**Ing. Dennis Argueta**

Por el apoyo en el transcurso de la carrera, por todo el tiempo invertido y por su amistad.

**Laboratorio de Mecánica  
de Suelos**

Patsy Obando, Byron García y Oscar Montes, por brindarme la oportunidad de ser parte del equipo de mecánica de suelos y por su amistad.

**Lucrecia Soto de  
Morales y Víctor Oliva  
Ponce**

Por haberme brindado su amistad y haber compartido su conocimiento.

**Municipalidad de San  
Martín Zapotitlán**

Por la disposición, apoyo y confianza de la señora alcaldesa Blanca Méndez, los señores Nery Rodríguez (DMP) y Dorian de León (UGAM) y de todo el personal de la municipalidad de San Martín Zapotitlán.

## ÍNDICE GENERAL

|  |      |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....  | V    |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....  | IX   |
| GLOSARIO .....   | XI   |
| RESUMEN.....   | XV   |
| OBJETIVOS.....   | XVII |
| INTRODUCCIÓN .....   | XIX  |
| <br>   |      |
| 1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN<br>ZAPOTITLÁN, RETALHULEU..... | 1    |
| 1.1. Localización y extensión territorial .....                                      | 1    |
| 1.2. Colindancias .....  | 2    |
| 1.3. Suelo y topografía .....  | 2    |
| 1.4. Clima .....   | 3    |
| 1.5. Hidrografía.....  | 3    |
| 1.6. Monografía del lugar.....   | 4    |
| 1.6.1. Población .....   | 4    |
| 1.6.2. Crecimiento poblacional .....   | 4    |
| 1.6.3. Aspectos culturales e idiomas .....   | 5    |
| 1.7. Servicios con los que cuenta el municipio .....                                 | 6    |
| 1.7.1. Agua y saneamiento .....  | 6    |
| 1.7.2. Desechos sólidos.....   | 6    |
| 1.7.3. Energía eléctrica .....   | 7    |
| 1.8. Educación.....  | 7    |
| 1.9. Condiciones de vivienda.....  | 8    |
| 1.10. Vías de comunicación.....  | 8    |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.     | SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....  | 9  |
| 2.1.   | Procesos físicos/químicos .....  | 9  |
| 2.1.1. | Rejillas.....  | 9  |
| 2.1.2. | Desarenador.....   | 10 |
| 2.1.3. | Trampa de grasas .....   | 11 |
| 2.1.4. | Coagulación .....  | 12 |
| 2.1.5. | Floculación .....  | 13 |
| 2.1.6. | Sedimentador o decantador .....  | 13 |
| 2.1.7. | Cloración .....  | 14 |
| 2.2.   | Procesos biológicos .....  | 15 |
| 2.2.1. | Fosas sépticas .....   | 15 |
| 2.2.2. | Tanque Imhoff .....  | 16 |
| 2.2.3. | Reactores UASB .....   | 17 |
| 2.2.4. | Filtros percoladores.....  | 18 |
| 2.2.5. | Reactores CBR .....  | 19 |
| 2.2.6. | Lodos activados .....  | 20 |
| 2.2.7. | Aireación extendida.....   | 21 |
| 2.2.8. | Lagunas.....   | 23 |
| 2.2.9. | Humedales .....  | 23 |
| 3.     | RESULTADOS.....  | 25 |
| 3.1.   | Localización y ubicación de las plantas de tratamiento de<br>aguas residuales públicas y privadas..... | 25 |
| 3.2.   | Descripción de las plantas de tratamiento de aguas<br>residuales públicas y privadas existentes .....  | 26 |
| 3.2.1. | Descripción PTAR de la comunidad Armenia<br>Ortiz.....   | 27 |
| 3.2.2. | Descripción PTAR de la comunidad La Loma .....   | 29 |
| 3.2.3. | Descripción PTAR, caserío Santa Teresita .....   | 32 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.2.4.  | Descripción PTAR, caserío Santa Teresita (II) .....  | 34 |
| 3.2.5.  | Descripción PTAR, comunidad San Antonio Ortiz ..   | 36 |
| 3.2.6.  | Descripción PTAR, aldea El Zapote .....  | 37 |
| 3.2.7.  | Descripción PTAR, comunidad San Alfonso.....   | 40 |
| 3.2.8.  | Descripción PTAR, caserío Las Cruces.....  | 42 |
| 3.2.9.  | Descripción PTAR, hotel Xetumuli.....  | 45 |
| 3.2.10. | Descripción PTAR, Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA) .....   | 47 |
| 3.3.    | Localización y ubicación de los puntos descargas de aguas residuales sin tratar .....  | 51 |
| 3.4.    | Descripción de los puntos de descargas de aguas residuales sin tratar .....  | 52 |
| 3.5.    | Identificación de cuerpos receptores .....   | 55 |
| 4.      | DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....  | 57 |
| 4.1.    | Inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas.....  | 57 |
| 4.2.    | Resumen de inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas por tipo de proceso .....  | 59 |
| 4.3.    | Diagramas de los principales procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....   | 60 |
| 4.4.    | Inventario de los puntos de descargas de aguas residuales ...  | 65 |
| 4.5.    | Cumplimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y puntos de descarga existentes en comparación con el <i>Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos</i> ..... | 66 |
| 4.6.    | Caudal de aguas residuales por cada ente generador .....   | 69 |

CONCLUSIONES..... 73  
RECOMENDACIONES ..... 75  
BIBLIOGRAFÍA..... 77  
APÉNDICE ..... 81  
ANEXOS..... 85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Ubicación y delimitación del municipio de San Martín Zapotitlán .....                  | 2  |
| 2.  | Canal de rejillas.....   | 10 |
| 3.  | Desarenador .....  | 11 |
| 4.  | Trampa de grasas .....   | 12 |
| 5.  | Tanque de coagulación .....  | 12 |
| 6.  | Tanque de floculación .....  | 13 |
| 7.  | Sedimentador.....  | 14 |
| 8.  | Tanque de cloración.....   | 15 |
| 9.  | Fosa séptica.....  | 16 |
| 10. | Tanque Imhoff .....  | 17 |
| 11. | Reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos.....                          | 18 |
| 12. | Filtro percolador .....  | 19 |
| 13. | Contactador biológico rotativo.....  | 20 |
| 14. | Lodos activados .....  | 21 |
| 15. | Tratamiento de aireación extendida .....   | 22 |
| 16. | Laguna .....   | 23 |
| 17. | Humedal.....   | 24 |
| 18. | Localización de plantas de tratamiento de aguas residuales<br>públicas y privadas..... | 25 |
| 19. | PTAR, comunidad Armenia Ortiz .....  | 27 |
| 20. | Esquema, tratamiento primario de la comunidad Armenia Ortiz .....                      | 28 |
| 21. | Esquema, tratamiento secundario de la comunidad Armenia Ortiz.....                     | 29 |
| 22. | PTAR, comunidad La Loma .....  | 30 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 23. | Esquema, tratamiento primario de la comunidad La Loma.....                              | 31 |
| 24. | Esquema, tratamiento secundario de la comunidad La Loma .....                           | 32 |
| 25. | PTAR, caserío Santa Teresita .....  | 33 |
| 26. | Esquema, tratamiento primario del caserío Santa Teresita .....                          | 34 |
| 27. | PTAR, caserío Santa Teresita (II).....  | 34 |
| 28. | Esquema, tratamiento primario del caserío Santa Teresita (II).....                      | 35 |
| 29. | PTAR, comunidad San Antonio Ortiz.....  | 36 |
| 30. | Esquema, tratamiento primario de la comunidad San Antonio Ortiz.....                    | 37 |
| 31. | PTAR, aldea El Zapote .....   | 38 |
| 32. | Esquema, tratamiento primario de la aldea El Zapote .....                               | 39 |
| 33. | Esquema, tratamiento secundario de la aldea El Zapote.....                              | 40 |
| 34. | PTAR, comunidad San Alfonso.....  | 40 |
| 35. | Esquema, tratamiento primario de la aldea El Zapote .....                               | 41 |
| 36. | Esquema, tratamiento secundario de la aldea El Zapote.....                              | 42 |
| 37. | PTAR, caserío Las Cruces .....  | 43 |
| 38. | Esquema, pretratamiento de caserío Las Cruces.....                                      | 44 |
| 39. | Esquema, tratamiento primario y secundario de caserío Las Cruces...                     | 45 |
| 40. | PTAR, Hotel Xetumuli .....  | 46 |
| 41. | Esquema, tratamiento primario hotel Xetumuli .....                                      | 47 |
| 42. | PTAR, IRTRA (Xejuyup) .....   | 50 |
| 43. | Ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales .....                           | 51 |
| 44. | Localización de los puntos de descarga de aguas residuales .....                        | 52 |
| 45. | Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea<br>Esquipulas núm. 1 ..... | 54 |
| 46. | Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea<br>Esquipulas núm. 2 ..... | 54 |
| 47. | Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea<br>Esquipulas núm. 3 ..... | 55 |
| 48. | Identificación de cuerpos receptores de aguas residuales .....                          | 56 |



|     |   |    |
|-----|---|----|
| 49. | Plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas, San Martín Zapotitlán .....                 | 58 |
| 50. | Clasificación de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas, San Martín Zapotitlán..... | 60 |
| 51. | Diagrama PTAR, comunidad Armenia Ortiz.....   | 61 |
| 52. | Diagrama PTAR, comunidad La Loma.....   | 61 |
| 53. | Diagrama PTAR, caserío Santa Teresita .....   | 62 |
| 54. | Diagrama PTAR, caserío Santa Teresita (II).....   | 62 |
| 55. | Diagrama PTAR, comunidad San Antonio Ortiz.....   | 63 |
| 56. | Diagrama PTAR, aldea El Zapote .....  | 63 |
| 57. | Diagrama PTAR, comunidad San Alfonso .....  | 64 |
| 58. | Diagrama PTAR, caserío Las Cruces .....   | 64 |
| 59. | Diagrama PTAR, Hotel Xetumuli.....  | 65 |
| 60. | Puntos de descarga de aguas residuales sin tratar en el municipio de San Martín Zapotitlán .....            | 66 |
| 61. | Estudios técnicos realizados de acuerdo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.....                            | 68 |
| 62. | Caudales de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento .....  | 70 |

## **TABLAS**

|      |  |    |
|------|--|----|
| I.   | Ubicación y localización de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....    | 26 |
| II.  | Ubicación y localización de los puntos de descarga de aguas residuales.....        | 52 |
| III. | Descripción de puntos de descarga de aguas residuales sin tratar .....             | 53 |
| IV.  | Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales .....                     | 57 |
| V.   | Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales por tipo de proceso ..... | 59 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| VI.   | Inventario de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar ...         | 65 |
| VII.  | Resumen de acuerdo con el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo<br>236-2006..... | 67 |
| VIII. | Caudales de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento .....            | 69 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo              | Significado  |
|----------------------|--|
| <b>EG</b>            | Carga de ente generador  |
| <b>COCODE</b>        | Consejo comunitario de desarrollo  |
| <b>CBR</b>           | Contactores biológicos rotativos   |
| <b>FAFA</b>          | Filtro anaerobio de flujo ascendente   |
| <b>°C</b>            | Grados Celsius   |
| <b>hab</b>           | Habitantes   |
| <b>Km</b>            | kilómetro  |
| <b>Kms</b>           | Kilómetros   |
| <b>lps</b>           | Litros por segundos  |
| <b>m</b>             | Metro  |
| <b>m<sup>2</sup></b> | Metro cuadrado   |
| <b>m<sup>3</sup></b> | Metro cúbico   |
| <b>msnm</b>          | Metros sobre el nivel del mar  |
| <b>mm</b>            | Milímetro  |
| <b>PTAR</b>          | Planta de tratamiento de aguas residuales  |
| <b>%</b>             | Porcentaje   |
| <b>UASB</b>          | <i>Upflow anaerobic sludge blanket</i> (reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente) |



## GLOSARIO

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>Afluente</b>         | Es el agua captada por un ente generador.   |
| <b>Agua cruda</b>       | Agua que no ha recibido ningún tratamiento, y que generalmente se encuentra en fuentes y reservas naturales de aguas superficiales y subterráneas.  |
| <b>Aguas residuales</b> | Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.  |
| <b>Biomasa</b>          | La materia orgánica de las aguas residuales y los lodos.  |
| <b>Caudal</b>           | El volumen de agua por unidad de tiempo.  |
| <b>Cuerpo receptor</b>  | Embalse natural, lago, río, quebrada, manantial, estuario, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.   |
| <b>DBO</b>              | Demanda bioquímica de oxígeno. Medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius. |

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>Desinfección</b>    | La desinfección del agua significa la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua.   |
| <b>DQO</b>             | Demanda química de oxígeno. Medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química. |
| <b>Flóculos</b>        | Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico o biológico.  |
| <b>IGN</b>             | Instituto Geográfico Nacional.   |
| <b>INE</b>             | Instituto Nacional de Estadística.   |
| <b>MARN</b>            | Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.   |
| <b>Medio filtrante</b> | Es el mecanismo físico utilizado para controlar la contaminación.  |
| <b>Saneamiento</b>     | Es el proceso y el resultado de sanear.  |
| <b>Sedimentar</b>      | Consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.  |

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>SEGEPLAN</b>          | Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.   |
| <b>Sistema aerobio</b>   | Proceso que necesita oxigenación.   |
| <b>Sistema anaerobio</b> | Proceso que no necesita de oxigenación. Estabilización de un desecho orgánico por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. |
| <b>Turbiedad</b>         | La medida del grado de transparencia que pierde el agua o algún otro líquido incoloro por la presencia de partículas en suspensión. |
| <b>UGAM</b>              | Unidad de Gestión Ambiental Municipal.  |





## RESUMEN

Es responsabilidad de cada individuo hacer uso responsable de los recursos hídricos. Conocer los cuerpos receptores y los puntos de descarga de aguas residuales es importante para dar un adecuado tratamiento a las aguas residuales y contribuir a la recuperación de los cuerpos de agua.

En el presente trabajo de investigación se determinó la cantidad y el estado actual de cada uno de los puntos de descarga y las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes en el municipio de San Martín Zapotitlán, Retalhuleu, datos que fueron obtenidos por medio de visitas de campo. Se elaboraron formularios basados en información sobre el tratamiento de aguas residuales y se realizaron recorridos por cada uno de los puntos de descarga; los recorridos duraron dos semanas, con equipo de seguridad y personal de la municipalidad.

Se logró determinar un total de veinticuatro plantas de tratamiento de aguas residuales y un total de tres puntos de descarga de aguas residuales sin tratar, utilizando tres ríos como cuerpos receptores. El 91 % del total de las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan sistemas anaerobios mientras el 9 % utiliza una combinación de sistemas, aerobios y anaerobios. En su totalidad, de los veintisiete desfogues de aguas residuales solo el 70 % posee estudios técnicos de aguas residuales dictados por el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, el cual establece los mecanismos de evaluación, control y seguimiento recomendados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.



## OBJETIVOS

### General

Establecer cuantitativa y cualitativamente el estado de las plantas de tratamiento y la ubicación de descargas de aguas residuales en el municipio de San Martín Zapotitlán, Retalhuleu.

### Específicos

1. Localizar y determinar el número de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas existentes en el municipio de San Martín Zapotitlán.
2. Describir cada sistema de tratamiento de aguas residuales y medir su caudal.
3. Localizar, describir y determinar el número de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar que existen en el municipio de San Martín Zapotitlán.
4. Identificar los cuerpos receptores de cada sistema de tratamiento de aguas residuales.
5. Determinar el funcionamiento y cumplimiento de los sistemas de aguas residuales con los análisis de laboratorio existentes comparando con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso*

*de aguas residuales y de la disposición de lodos* del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

## INTRODUCCIÓN

El agua para el ser humano ha sido indispensable desde sus inicios, por lo que la conservación y protección de este recurso ha ido evolucionando a través del tiempo con el desarrollo de nuevas tecnologías para el saneamiento hídrico.

La *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente* según decreto 68-86, el Acuerdo Gubernativo 236-2006 *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y su modificación según el Acuerdo Gubernativo 110-2016 obligan a todo ente generador cumplir con los parámetros y sus límites máximos permisibles para no causar impactos en los cuerpos de agua y en el medio ambiente.

En la actualidad, en el municipio de San Martín Zapotitlán del departamento de Retalhuleu se ha logrado construir varias plantas de tratamiento de aguas residuales, administradas por la municipalidad y por la iniciativa privada. Para la municipalidad de San Martín Zapotitlán es importante contar con esta información para identificar y localizar los sistemas de tratamiento y puntos de descarga actualmente construidos.

En el desarrollo del primer capítulo del presente trabajo, se realizó una investigación de la información específica actualizada del municipio de San Martín Zapotitlán, para describir las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio, en el segundo capítulo se muestra la información recolectada sobre sistemas y procesos de tratamiento de aguas residuales. Los resultados de la investigación de campo en cuanto a la descripción cuantitativa y cualitativa

también el análisis del cumplimiento de acuerdo con las leyes de aguas residuales de los puntos de descarga y plantas de tratamiento de aguas residuales se encuentran en el tercer capítulo; se desarrollándose así la discusión de resultados en el cuarto capítulo.

La información en este trabajo brindará una herramienta importante para la municipalidad ya que podrá realizar programas, y determinar presupuestos para la operación y el mantenimiento.

# **1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL MUNICIPIO DE SAN MARTÍN ZAPOTITLÁN, RETALHULEU**

De acuerdo con la información proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Instituto de Estadística Nacional (INE), la Dirección General de Caminos y diferentes medios escritos de la dirección de proyectos de la municipalidad de San Martín Zapotitlán, se presenta la siguiente descripción general del municipio.

## **1.1. Localización y extensión territorial**

“San Martín Zapotitlán, municipio del departamento de Retalhuleu, Guatemala, está ubicado a 182 kms de la ciudad capital y a 12 kms del municipio de Retalhuleu, al norte de la cabecera departamental. Su extensión territorial es 24 kilómetros cuadrados.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Segeplan. *Plan de desarrollo San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025*. p. 10.

Figura 1. **Ubicación y delimitación del municipio de San Martín Zapotitlán**



Fuente: Segeplan. *Plan de desarrollo San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025*. p. 9.

## 1.2. Colindancias

“Limita al norte con San Felipe, al oriente con San Andrés Villa Seca, al sur con Santa Cruz Muluá y al poniente con San Sebastián, Santa Cruz Muluá y San Felipe, en una parte el río Samalá de por medio.”<sup>2</sup>

## 1.3. Suelo y topografía

“Su territorio no registra grandes elevaciones, únicamente pequeños cerros, puede decirse que su topografía es irregular, donde se encuentran alternativamente pequeños valles y hondonadas, que forman pintorescos parajes. Debido a que su suelo es atravesado por variedad de ríos, posee la humedad adecuada para la buena producción agrícola.”<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Segeplan. *Plan de desarrollo San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025*. p. 10.

<sup>3</sup> *Ibíd.* p. 11.



“Según la clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala elaborada por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, establece que el municipio se caracteriza por contar con suelos denominados andisoles, los cuales tienen una textura arcillosa y arenosa, proveniente de cenizas volcánicas, inclinado de color claro, apto para los cultivos temporales y permanentes.”<sup>4</sup>

#### **1.4. Clima**

“Por su ubicación geográfica, San Martín Zapotitlán es una zona subtropical muy húmeda y por el clima que impera en el lugar es llamado boca costa, por lo tanto, su clima es templado y agradable, la temperatura media anual oscila entre los 22 a los 34 °C.”<sup>5</sup>

“En San Martín Zapotitlán, la temporada de lluvia es opresiva y nublada, la temporada seca es húmeda y mayormente despejada y es muy caliente durante todo el año.”<sup>6</sup>

#### **1.5. Hidrografía**

“La situación hidrográfica presenta variaciones en la superficie, debido al crecimiento de la población y el agotamiento de los recursos naturales.”<sup>7</sup>

Los ríos más importantes que cruzan el municipio de San Martín Zapotitlán Retalhuleu son; Samalá, Zarco, Tineco, Pacacó, Cangrejo de Oro, Ajaxá, Ixcuy,

---

<sup>4</sup> SIÁN YOC, W. A. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. p. 10.

<sup>5</sup> Segeplan. *Plan de desarrollo San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025*. p. 10

<sup>6</sup> Weather spark. *El clima promedio en San Martín Zapotitlán*. <https://es.weatherspark.com>  
Consulta: 6 de febrero de 2019.

<sup>7</sup> SIÁN YOC, W. A. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. p. 6.

Maricón, Bolas y Sucio; se tiene precisamente como atractivo el paseo del río Samalá a escasos dos kilómetros de la cabecera municipal.

## **1.6. Monografía del lugar**

A continuación, se muestra la monografía del lugar.

### **1.6.1. Población**

El total de habitantes en el municipio, según el censo poblacional 2018 del Instituto Nacional de Estadística, es de 14 155 habitantes, entre hombres y mujeres, registrando en relación con su territorio, una densidad de 590 habitantes por kilómetro cuadrado. El promedio de habitantes que viven en el área rural es de 61,7 %, 8 733 habitantes y el 38,3 % viven en el área urbana, 5 422 habitantes. La población indígena es el 10,2 % del total de la población, tanto en el área urbana como en el área rural. La población es en su mayoría no indígena, aunque existe alguna proporción indígena de origen Kakchiquel que habla ese idioma.<sup>8</sup>

### **1.6.2. Crecimiento poblacional**

“El crecimiento poblacional en cualquier parte del país, es inminente, San Martín Zapotitlán no es la excepción, tal como se observa en la proyección de los habitantes del municipio en general.”<sup>9</sup>

“La tasa de crecimiento poblacional es de 2,87 % respecto a los censos realizados. Según la información del año 2019, el INE registra 14 155 habitantes, con un promedio de cinco habitantes por familia.”<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> Segeplan. *Plan de desarrollo San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025*. p. 11.

<sup>9</sup> *Ibíd.*

### 1.6.3. Aspectos culturales e idiomas

El municipio de San Martín Zapotitlán, departamento de Retalhuleu, fue creado por acuerdo de fecha veintisiete de agosto de mil ochocientos treinta y seis y en un principio formó parte del departamento de Suchitepéquez. Por el Decreto Gubernativo Número 194 de fecha dieciséis de octubre de mil ochocientos setenta y siete, fue incorporado al departamento de Retalhuleu. Indica también que el pueblo fue organizado por los españoles durante la colonia, y como era la costumbre, le denominaron con advocación de San Martín Obispo.

Los grupos étnicos que predomina son: zamba y mestiza. Los idiomas oficiales son español y quiché. Las artesanías tienen un papel relevante entre la población. Se realizan diversas actividades relacionadas con la agricultura, la ganadería y la crianza de aves de corral, también se dedican a la elaboración de canastos de bambú, actividad que se realiza todo el año. En los meses de septiembre y octubre, gran parte de la población se dedica a la fabricación de coronas de papel parafinado, que son comercializadas en el municipio y en la cabecera departamental, esto con motivo de celebrarse el día de los santos y los fieles difuntos, el uno y dos de noviembre, respectivamente. Los productos se comercializan en Quetzaltenango y municipios aledaños, así como entre los turistas que visitan el municipio, al aprovechar la cercanía de la población con los parques del IRTRA.

En el municipio de San Martín Zapotitlán se encuentran los parques temáticos del IRTRA. Son parques destinados a la recreación de los visitantes, uno especializado en juegos mecánicos de gran tamaño, llamado Xetulul; también, otro que se llama Xocomil que es un parque acuático. Este complejo incluye restaurantes, parqueos y hospedajes. Existen otros centros de recreación y hospedajes en el municipio para atender la demanda del turismo y también como

---

<sup>10</sup> SIÁN YOC, W. A. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. p. 12.

generadores de empleo para las personas que viven en los municipios cercanos.<sup>11</sup>

## **1.7. Servicios con los que cuenta el municipio**

“Los principales servicios con los que se cuentan son: educación, salud, agua, drenaje, energía eléctrica, letrinas, extracción de basura, tratamiento de aguas servidas, tratamientos de desechos sólidos y cementerio. Estos servicios cuentan con el apoyo de las autoridades municipales por medio de los cocodes y en algunos casos, son prestados por la municipalidad y entidades privadas.”<sup>12</sup>

### **1.7.1. Agua y saneamiento**

El servicio es regulado por medio de los cocodes de cada comunidad. Para la captación se utilizan nacimientos de agua. Los habitantes cancelan un aproximado de Q. 60,00 al año en concepto de mantenimiento de dicho sistema.

Existe una red de drenaje que fue construida en 1977, que cuenta con 1 800 m lineales; en la actualidad, carece de red de drenaje la aldea Ceiba Blanca, el cantón Maricón y la comunidad Balcones de San Martín. La población rural carece de infraestructura para el servicio. El uso de excusado lavable conectado a una red de drenaje aumento un 43 %. No existe una planta de tratamiento de desechos sólidos en el municipio, esto incrementa la contaminación del medio ambiente y deterioro de los suelos.<sup>14</sup>

### **1.7.2. Desechos sólidos**

“La municipalidad brinda el servicio de extracción basura, que beneficia al 33 % de la población. El 67 % utiliza métodos distintos tratamientos con la basura generada. La basura orgánica, se utiliza como abono en las

---

<sup>11</sup> Segeplan. *Plan de desarrollo San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025*. p. 44.

<sup>12</sup> SIÁN YOC, W. A. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. p. 19.

<sup>14</sup> *Ibíd.* p. 22.

comunidades y en época de lluvia, la basura la entierran dentro de las propiedades.”<sup>15</sup>

### **1.7.3. Energía eléctrica**

La población actualmente cuenta con dos clases de energía la de 220 y la de 110 voltios, este último fue logrado través de las gestiones efectuadas por la administración municipal, encabezada por el ciudadano Jorge Mario Reyes Escalante y cubre toda la población urbana. También, cuenta con energía eléctrica de 310 voltios la aldea Ajaxá de esta jurisdicción, que fue introducida en el año de 1979.

La cobertura de servicio es del 90 % de viviendas que cuentan con energía eléctrica y un 10 % que carece del servicio.

### **1.8. Educación**

De acuerdo con los artículos 71 y 72 de la Constitución Política de la República de Guatemala, la educación es uno de los derechos de todo ser humano, básico para el desarrollo integral y factor para la superación de una población. El tres de junio del año 2012, el municipio fue declarado libre de analfabetismo por el Comité Nacional de Alfabetización con un índice del 1,03 % de personas analfabetas.

Según datos del Ministerio de Educación existen 43 establecimientos educativos, de los cuales 37 % se encuentran ubicados en el área urbana y 63 % en el área rural. Se define como alfabeto a la persona que tiene capacidad

---

<sup>15</sup> SIÁN YOC, W. A. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. p. 22.

de leer y escribir en algún idioma. Según encuesta al año 2015, el 99 % de la población es alfabeta.<sup>16</sup>

### **1.9. Condiciones de vivienda**

“En el municipio predomina la tenencia propia de la vivienda, clasificada de tipo formal; en su mayoría están construidas con paredes de block, techo de lámina y piso de concreto.”<sup>17</sup>

### **1.10. Vías de comunicación**

Las carreteras asfaltadas en buen estado que comunican con la ciudad de Guatemala desde la carretera CA-02, entroncan con el municipio de Mazatenango, con opción de continuar por dicha carretera o ingresar por la carretera RD-SCH-01. Por la carretera desde Huehuetenango hasta llegar a la autopista Los Altos y entrar a la carretera de Quetzaltenango, CITO-180 (carretera intertronal de occidente). La carretera desde el municipio de Champerico, con arribo a Retalhuleu a la 5av. y entroncado en carretera CA-02, para luego ingresar por la carretera CITO-180, la cual se encuentra en buen estado, así como la carretera desde Coatepeque por carretera CA-02 e ingresar por carretera CITO-180 hasta el municipio San Martín Zapotitlán, departamento de Retalhuleu.

Las vías de comunicación intermunicipales con aldeas, cantones, lotificaciones y fincas son de terracería, transitables en cualquier época del año.<sup>19</sup>

---

<sup>16</sup> SIÁN YOC, W. A. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. p. 21.

<sup>17</sup> *Ibíd.* p. 22.

<sup>19</sup> Segeplan. *Plan de desarrollo San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025*. p. 31.

## **2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que se pueden dar en sistemas aerobios y anaerobios, cuyo fin es eliminar los contaminantes presentes en el agua; con el objetivo de contribuir al medio ambiente y al desarrollo de la población existen métodos para el reuso de las aguas residuales ya tratadas y de sus lodos.

### **2.1. Procesos físicos/químicos**

La presencia en el agua de sólidos de dimensiones variadas y otras sustancias químicas, constituyen una parte importante de la contaminación acuática, es por eso que se han desarrollado diferentes sistemas de tratamiento, fisicoquímicos con el fin de mitigar este tipo de alteración en el agua.

#### **2.1.1. Rejillas**

Este tipo de equipo es utilizado para retener todos los sólidos gruesos no biodegradables que lleva el agua residual, usualmente forma parte del pretratamiento y tiene como objetivo general acondicionar el agua residual para facilitar los tratamientos posteriores, y preservar el sistema de erosiones y obstrucción o taponamientos en el equipo.

“Generalmente, son de acero, pero pueden ser de diferentes materiales como plástico, acero inoxidable y fibra de vidrio, son de operación manual y también existen de operación autolimpiantes; si las rejillas son de limpieza

manual, las barras que la conforman no deben exceder los 10 mm de anchura y 50 mm de profundidad.”<sup>20</sup>

Figura 2. **Canal de rejillas**



Fuente: Conagua. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.  
[www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx). Consulta: 23 de julio de 2019.

### **2.1.2. Desarenador**

“El desarenador tiene por objeto separar del agua cruda, la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar que se produzcan depósitos en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm.”<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p. 507.

<sup>21</sup> OPS-CEPIS. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. p. 4.



Figura 3. **Desarenador**



Fuente: Docplayer. *El tratamiento de aguas residuales en poblaciones urbanas atendidas por ENACAL*. www.docplayer.es. Consulta: 23 de julio de 2019.

### 2.1.3. **Trampa de grasas**

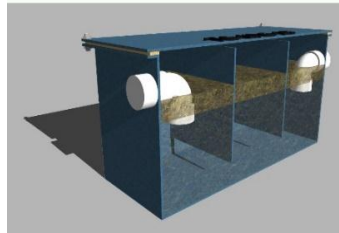
La trampa de grasas es un medio en el que el agua residual tiene una permanencia corta, y permite el flote de partículas menos densas que el agua, llevándolas a la superficie.

El modelo tradicional de una trampa de grasa consiste en una cámara donde se almacena el agua, la cual contiene desviaciones que fuerzan el agua a viajar en dirección vertical durante una o más etapas. Cuando el agua viaja en dirección vertical, y de forma lenta, la grasa que contiene tiende a flotar y de esta forma es separada. De acuerdo con la carga de trabajo del establecimiento, muchas veces es necesario limpiar las trampas, sacando la grasa que se acumula y depositándola en contenedores espaciales para su disposición. Hay empresas que se dedican a la disposición de residuos de manejo especial, incluyendo las grasas.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> ACEVEDO OCÓN, G. M. *Caracterización, evaluación y propuesta de tratamiento de las aguas residuales de una industria de fabricación de envases de aluminio*. p. 26.

Figura 4. **Trampa de grasas**



Fuente: Kpgwater. *Trampa de grasas*. [www.kpgwater.com.mx](http://www.kpgwater.com.mx). Consulta: 23 de julio de 2019.

#### 2.1.4. **Coagulación**

La coagulación en tratamiento de aguas se entiende como un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

Tiene como objetivo principal desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos.<sup>23</sup>

Figura 5. **Tanque de coagulación**



Fuente: Wikipedia. *Coagulation (water treatment)*. [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org). Consulta: 23 de julio de 2019.

<sup>23</sup> CÁRDENAS, Y. *Tratamiento de agua: coagulación y floculación*. p. 9.

### 2.1.5. Floculación

“La floculación es el proceso que sigue al proceso de coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos, inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.”<sup>24</sup>

Figura 6. **Tanque de floculación**



Fuente: Panachlor. *Turbidez, floculación y sedimentación*. [www.panachlor.com](http://www.panachlor.com). Consulta: 23 de julio de 2019.

### 2.1.6. Sedimentador o decantador

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen tendencia a depositarse, y los de menor peso específico tienden a ascender. Estos principios básicos se emplean para el proyecto de los tanques de decantación para el tratamiento de las aguas residuales. La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante y, por lo tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua.<sup>25</sup>

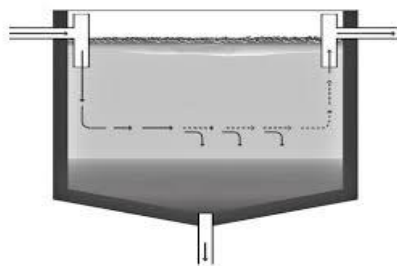
---

<sup>24</sup> CÁRDENAS, Y. *Tratamiento de agua: coagulación y floculación*. p. 13.

<sup>25</sup> Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p. 521.

“Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el principal grado de tratamiento del agua residual, o se pueden emplear como paso previo al tratamiento posterior, pueden llegar a eliminar entre el 50 % y 70 % de los sólidos suspendidos y entre el 25 % y 40 % de la DBO.”<sup>26</sup>

Figura 7. **Sedimentador**



Fuente: SSWM. *Sedimentador*. [www.sswm.info](http://www.sswm.info). Consulta: 23 de julio de 2019.

### 2.1.7. **Cloración**

“Es un proceso químico que consiste en la desinfección del agua residual por medio de cloro. El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica porque destruye los organismos a ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas que incluyen el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuestos clorinados en forma sólida o líquida.”<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p. 521.

<sup>27</sup> U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, desinfección con cloro*. p. 1.

Figura 8. **Tanque de cloración**



Fuente: Plantas de tratamientos. *Cloración*. [www.plantasdetratamientos.cl](http://www.plantasdetratamientos.cl). Consulta: 23 de julio de 2019.

## **2.2. Procesos biológicos**

A continuación, se muestran los procesos biológicos.

### **2.2.1. Fosas sépticas**

El tanque séptico o fosa séptica realiza funciones físicas y biológicas, teniendo como objetivo mejorar las características físicas y biológicas del agua residual, como resultado de la función física que realiza se tiene la eliminación de sólidos que a medida que las aguas residuales entran en un tanque séptico, su velocidad de flujo se reduce, de modo que los sólidos más grandes se hunden en el fondo o suben a la superficie. Estos sólidos se retienen en el tanque y se descarga el efluente clarificado.

El tratamiento biológico se da con los sólidos y el líquido en el tanque que están sujetos a descomposición por procesos bacterianos y naturales. Las bacterias presentes son de una variedad llamada anaeróbica que prospera en ausencia de oxígeno libre. Esta descomposición o tratamiento de aguas residuales bajo condiciones anaeróbicas se denominan 'sépticas', de ahí el nombre del tanque. Las aguas residuales que han sido sometidas a dicho tratamiento causan menos obstrucciones que las aguas residuales no tratadas que contienen la misma cantidad de sólidos suspendidos.

La fosa séptica también tiene como función el almacenamiento de lodos y residuos. Los sólidos acumulados en la parte inferior del tanque forman el lodo y la espuma es una capa parcialmente sumergida de sólidos que se pueden formar en la superficie del líquido en el tanque. Se debe proporcionar espacio en el tanque para almacenar este residuo durante el intervalo entre limpiezas, de lo

contrario, los lodos y la espuma se retirarán del tanque y pueden obstruir el campo de eliminación.<sup>28</sup>

Figura 9. **Fosa séptica**



Fuente: Wikipedia. *Fosas sépticas*. [www.fosassepticas.online](http://www.fosassepticas.online). Consulta: 23 de julio de 2019.

### 2.2.2. **Tanque Imhoff**

Los tanques Imhoff son también conocidos como tanques de doble acción, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. Por lo que se dice que el tanque Imhoff es un sistema de tratamiento primario que utiliza la fuerza de gravedad para separar sólidos de aguas residuales, un proceso conocido como sedimentación primaria. Estos sólidos son entonces degradados bajo la digestión anaeróbica dentro de una cámara inferior del tanque antes de la eliminación de lodos.

Los tanques Imhoff a menudo se caracterizan como tanques de dos pisos que proporcionan procesos de sedimentación a ocurrir en el piso superior y digestión anaerobia de partículas sedimentadas en el piso inferior. Permite que los lodos desarrollen una mayor calidad con la eliminación a zonas controladas.

---

<sup>28</sup> Centro Nacional de Salud Urbana e Industrial. *Manual de prácticas de tanque-séptico*. p. 27.

“Los tanques Imhoff diseñados adecuadamente son capaces de lograr retiros de 50 % a 70 % sólidos en suspensión y 30 % – 50 % de DBO.”<sup>29</sup>

“En el presente todavía se utilizan en el desarrollo de diferentes partes del mundo como una tecnología de tratamiento que requiere mantenimiento mínimo y sin requerimiento de energía que no sean gradientes hidráulicos.”<sup>30</sup>

Figura 10. **Tanque Imhoff**



Fuente: Wikipedia. *Fosas sépticas*. [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org). Consulta: 23 de julio de 2019.

### 2.2.3. Reactores UASB

“La abreviación U.A.S.B. se define como *upflow anaerobic sludge blanket* o reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente. Esta tecnología es aplicada específicamente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica.”<sup>31</sup>

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, que forman un lodo biológicamente activo en el reactor.

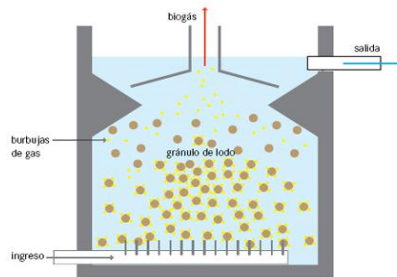
<sup>29</sup> BARNES, D.; WILSON, F. *El diseño y operación de pequeñas obras de alcantarillado*. p. 304.

<sup>30</sup> MCLEAN, R. C. *Tratamiento de aguas residuales de Honduras: tratamiento primario mejorado químicamente y tecnologías de tratamiento secundario sostenibles para uso con tanques Imhoff*. p. 54.

<sup>31</sup> RODRÍGUEZ, Raquel. *Reactor de pantalla de almacenamiento anaeróbico modelado*. p 9.

Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional.<sup>32</sup>

Figura 11. **Reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos**



Fuente: *Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos (UASB)*.

www.alianzaporelagua.org. Consulta: 23 de julio de 2019.

#### 2.2.4. **Filtros percoladores**

Los filtros percoladores (o lechos bacterianos) constan de un medio poroso a través del cual se hace pasar el agua residual a tratar. Constituyen un tratamiento secundario aplicable en todas las aguas susceptibles de ser depuradas mediante un proceso biológico aerobio. El sistema se asemeja en todo a una filtración sobre medio poroso, pero se realiza en régimen de no saturación, no produciéndose en estos sistemas filtración mecánica.

De esta manera es posible el paso del aire en contracorriente con el agua, suministrándose el oxígeno necesario para que tenga lugar el proceso biológico. El efluente del tratamiento primario es alimentado mediante distribuidores de caudal desde la parte superior del filtro y desciende por el medio filtrante hasta su salida en la parte inferior.

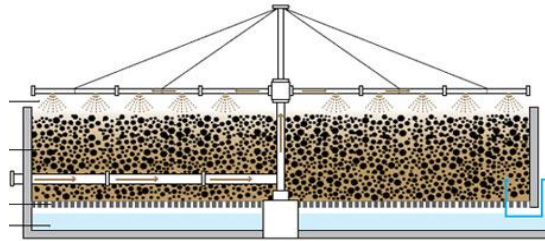
La operación correcta de estos filtros implica un desprendimiento continuo y uniforme de los fangos, evitando la acumulación de exceso de biomasa. Un aumento del caudal mejora la distribución del agua y reduce la posibilidad de

<sup>32</sup> RODRÍGUEZ, Raquel. *Reactor de pantalla de almacenamiento anaeróbico modelado*. p 9.



zonas no suficientemente mojadas, manteniendo la máxima capacidad de tratamiento del filtro. Además, una velocidad mayor mantiene los esfuerzos cortantes necesarios para el desprendimiento de la biomasa en exceso de forma regular.<sup>33</sup>

Figura 12. Filtro percolador



Fuente: *Filtro percolador*. [www.alianzaporelagua.org](http://www.alianzaporelagua.org). Consulta: 23 de julio de 2019.

### 2.2.5. Reactores CBR

Los contactores biológicos rotativos tienen como función la depuración biológica en el que la biomasa se fija en un soporte inerte en forma de film biológico. Los sistemas más difundidos son los biocilindros y los biodiscos. Los biocilindros son cilindros perforados, con diámetros entre 2 y 5 m, que en su interior contienen un material soporte, generalmente de plástico con formas muy variadas. En los biodiscos, el soporte está constituido por discos de material plástico ensamblados sobre un eje horizontal. Para ambos el esquema de funcionamiento es el mismo. Giran lentamente sobre su eje, manteniendo el 40 % de la superficie sumergida.<sup>34</sup>

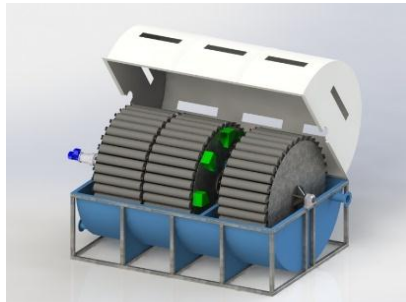
Para el proceso de este sistema se dice que el crecimiento biológico se produce de la adherencia en la superficie de los discos al formar una capa en toda el área mojada en los mismos. Por la rotación de los discos, alternativamente, la biomasa entra en contacto con el sustrato orgánico del agua residual y posteriormente con la atmósfera en la que absorbe el oxígeno. Este giro mantiene la biomasa en condiciones aerobias.

<sup>33</sup> FERRER, José; SECO, Aurora; ROBLES, Ángel. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. p. 109.

<sup>34</sup> *Ibíd.*

“Al mismo tiempo sirve de mecanismo para desprender el exceso de sólidos de los discos debido a las fuerzas de corte creadas y mantener los flóculos en suspensión. De lo dicho se desprende que estos reactores pueden clasificarse en la familia de los filtros percoladores, no obstante, se distinguen de ellos debido al hecho de que el soporte gira alrededor de un eje horizontal.”<sup>35</sup>

Figura 13. **Contactador biológico rotativo**



Fuente: Aguas residuales. *Contactador biológico rotativo*. [www.aguasresiduales.info](http://www.aguasresiduales.info). Consulta: 23 de julio de 2019.

### **2.2.6. Lodos activados**

“Los lodos activados pueden ser considerados como un complejo sistema ecológico, en el que los organismos presentes están en competición por el alimento común existente y entre los cuales hay una serie de relaciones de predador-presa, por lo que se les denomina lodos activados a los lodos que contienen los microorganismos que llevan a cabo la depuración biológica.”<sup>36</sup>

---

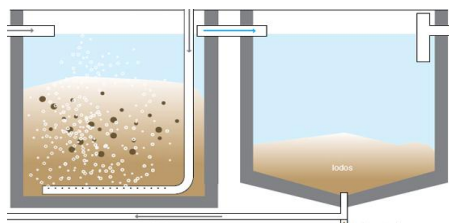
<sup>35</sup> FERRER, José; SECO, Aurora; ROBLES, Ángel. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. p. 116.

<sup>36</sup> *Ibíd.*

La composición específica de los lodos activados estará determinada por la velocidad relativa de crecimiento de las especies, la disponibilidad de alimento en competición con otras especies del mismo nivel trófico y el efecto de la predación de los organismos de niveles tróficos más altos. Aparte de estos factores, las condiciones físicas y químicas de la planta son también importantes en la determinación de la composición específica.

“Los principales factores son la disponibilidad de oxígeno, el pH, la temperatura y los agentes inhibidores o tóxicos. Un factor de complejidad añadido en las plantas de lodos activados es la pérdida continua de organismos debido a las salidas con el efluente y las descargas del exceso de lodos, por lo que el diseño adecuado del tratamiento biológico en una estación depuradora exige el conocimiento profundo de las características del agua a tratar.”<sup>37</sup>

Figura 14. **Lodos activados**



Fuente: Alianza por el agua. *Lodo activado*. [www.alianzaporelagua.org](http://www.alianzaporelagua.org). Consulta: 23 de julio de 2019.

### 2.2.7. Aireación extendida

El proceso de aireación extendida es una modificación del proceso de lodos activados el cual facilita la digestión aeróbica de los lodos dentro del

---

<sup>37</sup> FERRER, José; SECO, Aurora; ROBLES, Ángel. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. p. 22.

sistema de aireación. El proceso comprende de la estabilización de la materia orgánica en condiciones aerobias y la eliminación de los productos finales gaseosos en el aire. En este proceso, las aguas residuales entran en el estanque de aireación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, donde los contenidos son mezclados y aireados con grandes volúmenes de aire inyectados al interior del estanque. En la medida que el aire burbujea hacia la superficie transfiere oxígeno a los líquidos del estanque.

“Las bacterias aeróbicas, presentes en el lodo activado del estanque, usan este oxígeno para transformar las aguas residuales en un líquido cristalino e inodoro. Algunas veces, a este proceso se le denomina como combustión húmeda, porque las bacterias degradan las aguas residuales por el uso de oxígeno, tal como el fuego utiliza oxígeno para quemar objetos.”<sup>38</sup>

Figura 15. **Tratamiento de aireación extendida**



Fuente: Parkson. *Sistema de tratamiento de aireación extendida*. [www.parkson.com](http://www.parkson.com). Consulta: 23 de julio de 2019.

---

<sup>38</sup> FERRER, José; SECO, Aurora; ROBLES, Ángel. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. p. 4.

### 2.2.8. Lagunas

El tratamiento de aguas residuales en el cual se emplean lagunas es conocido con el nombre de lagunaje y es un proceso por el cual las aguas son vertidas en estanques de tierra impermeabilizados de configuraciones variadas, generalmente extensos y poco profundos, donde son tratadas por métodos totalmente naturales.

El oxígeno necesario en los estanques se obtiene por reaeración natural a través de la superficie y de la reacción de fotosíntesis de las algas. El oxígeno producido por las algas es utilizado por las bacterias aerobias para la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Los productos de esta degradación son utilizados de nuevo por las algas, existiendo por lo tanto una relación simbiótica entre algas y bacterias.<sup>39</sup>

Figura 16. Laguna



Fuente: OAKLEY, Stewart. *Lagunas de estabilización en Honduras*. p 138.

### 2.2.9. Humedales

Los humedales son sistemas naturales que tratan las aguas residuales mediante la sedimentación y el filtrado, siendo su función principal la eliminación de nutrientes que contiene el agua residual por medio de plantas acuáticas. El oxígeno para la descomposición aeróbica es suministrado por las plantas que crecen en el humedal, las cuales pueden ser de cualquier tipo de planta acuática.

---

<sup>39</sup> FERRER, José; SECO, Aurora; ROBLES, Ángel. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. p. 211.

“Las raíces de las plantas sumergidas proporcionan un sustrato para los procesos microbianos. Los sólidos se filtran y finalmente se asientan en las aguas residuales del humedal. Después de aproximadamente dos semanas en el humedal, el efluente generalmente se descarga por gravedad a un lecho de humedal sin forro.”<sup>40</sup>

Figura 17. **Humedal**



Fuente: *Introducción a los humedales artificiales como tratamiento de las aguas residuales.*

[www.iagua.es](http://www.iagua.es). Consulta: 23 de julio de 2019.

---

<sup>40</sup> U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Manual de diseño de control de nutrientes, informe de revisión del estado de la tecnología.* p. 75.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Localización y ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas

Las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas en el municipio de San Martín Zapotitlán se ubican en; comunidad armenia Ortiz, comunidad la Loma, caserío Santa Teresita, comunidad san Antonio Ortiz, aldea el Zapote, comunidad San Alfonso y caserío las Cruces. Las plantas de tratamiento de aguas residuales privadas se ubican en Hotel Xetumuli, parque recreacional de los trabajadores (IRTRA) y condominio las Fuentes.

Figura 18. Localización de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2019.

Tabla I. **Ubicación y localización de las plantas de tratamiento de aguas residuales**

| Núm. | Lugar                        | Coordenadas                 |
|------|------------------------------|-----------------------------|
| 1    | Comunidad Armenia Ortiz      | 14°36'19.3"n 91°36'13.3"w   |
| 2    | Comunidad La Loma            | 14°34'48.4"n 91°36'42.5"w   |
| 3    | Caserio Santa Teresita       | 14°35'37.84"n 91°36'17.58"w |
| 4    | Caserio Santa Teresita (ii)  | 14°35'22.4"n 91°36'23.4"w   |
| 5    | Comunidad San Antonio Ortiz  | 14°36'03.8"n 91°36'32.5"w   |
| 6    | Aldea El Zapote              | 14°35'21.4"n 91°36'35.4"w   |
| 7    | Comunidad San Alfonso        | 14°34'47.1"n 91°36'40.2"w   |
| 8    | Caserio Las Cruces           | 14°36'0.21"n 91°35'45.16"w  |
| 9    | Hotel Xetumuli               | 14°36'5.96"n 91°36'37.62"w  |
| 10   | Irtra (Xejujup)              | 14°35'56.14"n 91°37'30.83"w |
| 11   | Irtra (Xejujup)              | 14°35'53.26"n 91°37'21.20"w |
| 12   | Irtra (Xejujup)              | 14°35'46.44"n 91°37'35.92"w |
| 13   | Irtra (Xejujup)              | 14°35'40.36"n 91°37'37.22"w |
| 14   | Irtra (Xejujup)              | 14°35'35.64"n 91°37'35.60"w |
| 15   | Irtra (Corozos 1-2)          | S/i                         |
| 16   | Irtra (Corozos 3- 4)         | S/i                         |
| 17   | Irtra (Corozos 5)            | S/i                         |
| 18   | Irtra (casa ejecutiva)       | S/i                         |
| 19   | Irtra (casa administrador)   | S/i                         |
| 20   | Irtra (Xocomil)              | 14°35'48.19"n 91°36'40.23"w |
| 21   | Irtra (salida Francia)       | 14°35'46.79"n 91°36'41.44"w |
| 22   | Irtra (salida Plaza Chapina) | S/i                         |
| 23   | Irtra (salida internacional) | S/i                         |
| 24   | Condominio Las Fuentes       | 14°35'49.12"n 91°36'13.59"w |

\* S/I = Sin información. (Información no proporcionada)

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas existentes

A continuación, se muestra la descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas existentes.



### 3.2.1. Descripción PTAR de la comunidad Armenia Ortiz

Este sistema de tratamiento se encuentra a 531 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de 441 m<sup>2</sup>; el caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 1 025 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio aforado de: 1,47 lps. La tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de dos cámaras y aerobia con un filtro percolador. La planta de tratamiento de aguas residuales tiene aproximadamente un año de construcción según la información brindada por el operador.

Figura 19. PTAR, comunidad Armenia Ortiz

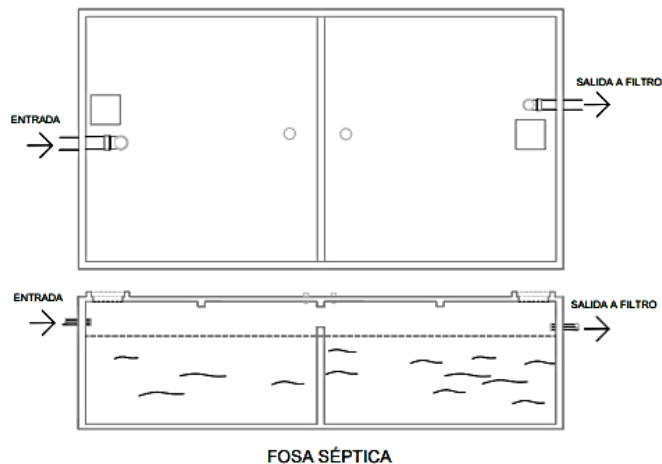


Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras. Construida de concreto. Cuenta con dos tuberías de ventilación, dos tapaderas de registro, tiene tres metros de profundidad, cuatro metros de ancho y ocho metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de cuatro metros de ancho y cuatro metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal aproximado de 1,47 lps, el cual entra sin pretratamiento. El agua

residual entra a la primera cámara en la cual se lleva a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica permitiendo que las aguas con menor cantidad de materia orgánica y sólidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior. Al finalizar el proceso, el agua residual tratada pasará al tratamiento secundario.

Figura 20. **Esquema, tratamiento primario de la comunidad Armenia Ortiz**

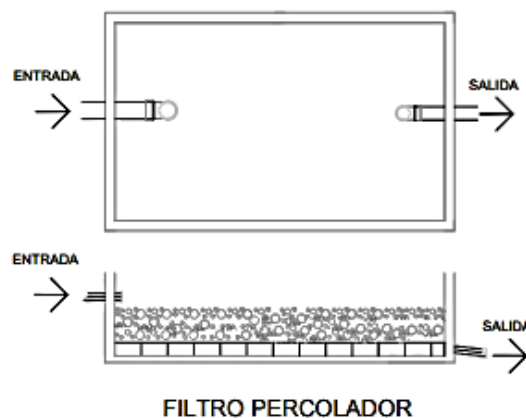


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Tratamiento secundario: el tratamiento secundario está conformado por un filtro percolador con dimensiones de tres metros de ancho por cuatro metros de largo, a este afluente ingresa en la parte superior por una tubería de ingreso única y el efluente por la parte inferior. Es un sistema de tratamiento aerobio natural; está equipado con una tubería de ingreso del agua residual, un medio filtrante en este caso piedra bola mediana de dos a seis pulgadas de diámetro y en la parte inferior un fondo falso para que salga el agua residual y a la vez mantenga el sistema ventilado. El

proceso de filtración es biológico, retira los contaminantes en el agua residual. Al finalizar el proceso, el agua residual desfoga en el río Armenia.

Figura 21. **Esquema, tratamiento secundario de la comunidad Armenia Ortiz**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.2.2. Descripción PTAR de la comunidad La Loma

Este sistema de tratamiento se encuentra a 419 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de 441 m<sup>2</sup>. El caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 750 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio aforado de: 1,042 lps. La tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de dos cámaras y aerobia con dos filtros percoladores. La planta de tratamiento de aguas residuales sufrió daños por el desborde del río Ajaxa, pero se le realizaron restauraciones.

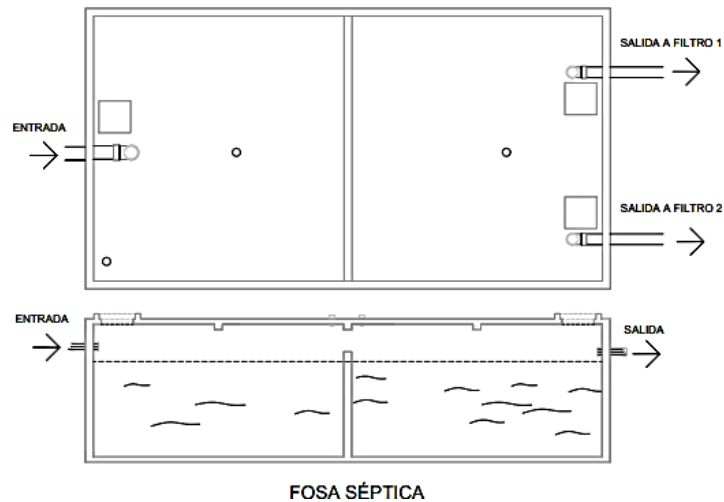
Figura 22. **PTAR, comunidad La Loma**



Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras. Construida de concreto, cuenta con tres tuberías de ventilación, tres tapaderas de registro, tiene tres metros de profundidad, cinco metros de ancho y diez metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de cinco metros de ancho y cinco metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal aproximado de 1,042 lps. El agua residual entra a la primera cámara en la cual se lleva a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica que permite que las aguas con menor cantidad de materia orgánica y sólidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior. Al finalizar el proceso, el agua residual tratada pasara por dos tuberías de salida.

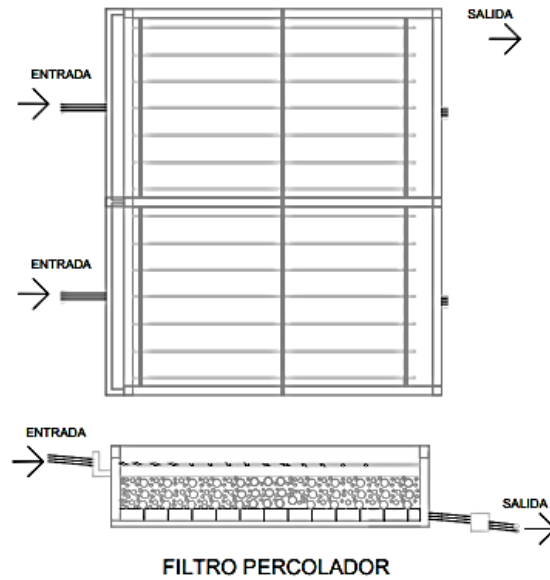
Figura 23. **Esquema, tratamiento primario de la comunidad La Loma**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Tratamiento Secundario: el tratamiento secundario está equipado por dos filtros percoladores. El afluente ingresa en la parte superior y el efluente por la parte inferior hacia una caja colectora. Es un sistema de tratamiento aerobio natural, cada uno está equipado con una tubería de ingreso del agua residual hacia un conjunto de tuberías que distribuyen el agua residual uniformemente sobre la superficie de medio filtrante; este caso piedra bola mediana de dos a seis pulgadas de diámetro y en la parte inferior un fondo falso para que salga el agua residual y a la vez mantenga el sistema ventilado. El proceso de filtración es biológico, retira los contaminantes en el agua residual. Al finalizar el proceso el agua residual es colectado en una caja la cual desfoga en el río Ajaxa.

Figura 24. **Esquema, tratamiento secundario de la comunidad La Loma**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.2.3. Descripción PTAR, caserío Santa Teresita

Este sistema de tratamiento se encuentra a 481 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de de 50 m<sup>2</sup>. El caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 300 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio de: 0,42 lps. La tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de dos cámaras.

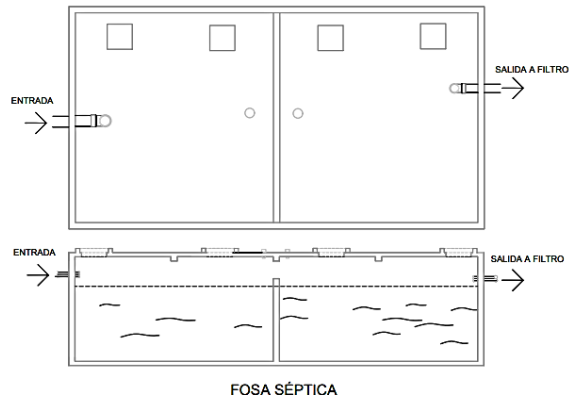
Figura 25. **PTAR, caserío Santa Teresita**



Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras. Construida de concreto, cuenta con cuatro tapaderas de registro, tiene tres metros de profundidad, tres metros de ancho y seis metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de tres metros de ancho y tres metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal de 0,42 lps. El agua residual entra a la primera cámara en la que se lleva a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica permitiendo que las aguas con menor cantidad de materia orgánica y sólidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior de digestión.

Figura 26. **Esquema, tratamiento primario del caserío Santa Teresita**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

#### 3.2.4. **Descripción PTAR, caserío Santa Teresita (II)**

Este sistema de tratamiento se encuentra a 464 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de de 70 m<sup>2</sup>, el caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 500 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio aforado de: 0,70 lps. La Tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de dos cámaras.

Figura 27. **PTAR, caserío Santa Teresita (II)**

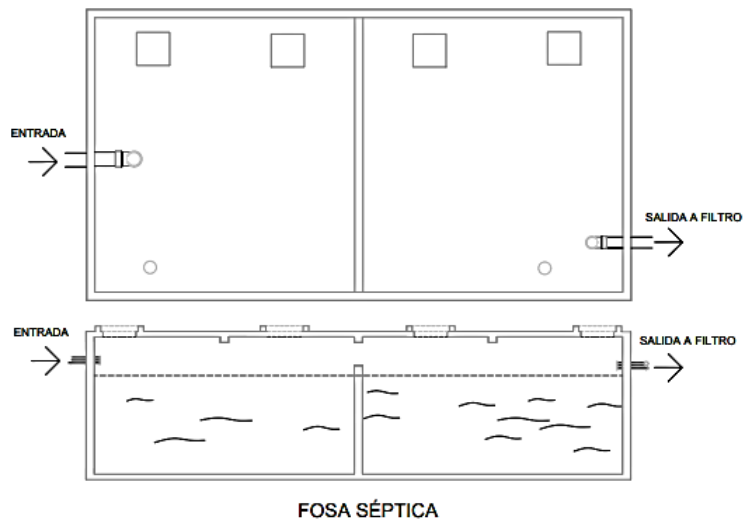


Fuente: elaboración propia.



- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras. Construida de concreto, cuenta con cuatro tapaderas de registro, tiene tres metros de profundidad, cuatro metros de ancho y seis metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de cuatro metros de ancho y tres metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal de 0,7 lps. El agua residual entra a la primera cámara en la cual se lleva a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica permitiendo que las aguas con menor cantidad de materia orgánica y sólidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior. Al finalizar el proceso, el agua residual tratada pasa a una caja en la que desfoga al río Ajaxa.

Figura 28. **Esquema, tratamiento primario del caserío Santa Teresita (II)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.2.5. Descripción PTAR, comunidad San Antonio Ortiz

Este sistema de tratamiento se encuentra a 492 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de 25 m<sup>2</sup>, el caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 475 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio aforado de: 0,65 lps. La tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de una sola cámara.

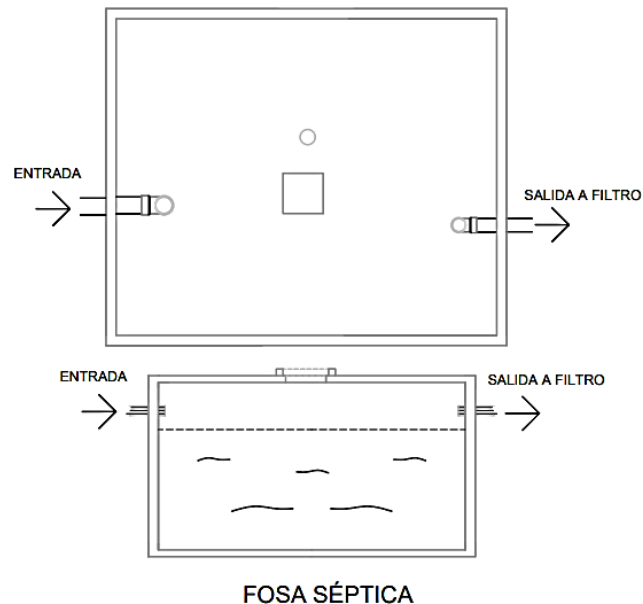
Figura 29. PTAR, comunidad San Antonio Ortiz



Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica. Construida de concreto, cuenta con una tapadera de registro, tiene tres metros de profundidad, dos metros de ancho y cuatro metros de largo. A la fosa séptica ingresa un caudal de 0,65 lps, el cual entra sin pretratamiento. El agua residual entra a la cámara en la cual se lleva a cabo el proceso de separación de sólidos por decantación y la digestión de la materia orgánica. Al finalizar el proceso, el agua residual tratada desfoga en el río Tineco.

Figura 30. **Esquema, tratamiento primario de la comunidad San Antonio Ortiz**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.2.6. Descripción PTAR, aldea El Zapote

Este sistema de tratamiento se encuentra a 454 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de 100 m<sup>2</sup>, el caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 1 500 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio aforado de: 2,08 lps. La tecnología que se utiliza en el proceso de tratamiento del agua residual es anaerobia con una fosa séptica y un filtro percolador. Se realizó una remodelación del sistema anterior, el cual estaba compuesto por una fosa séptica de aproximadamente ocho metros cuadrados.

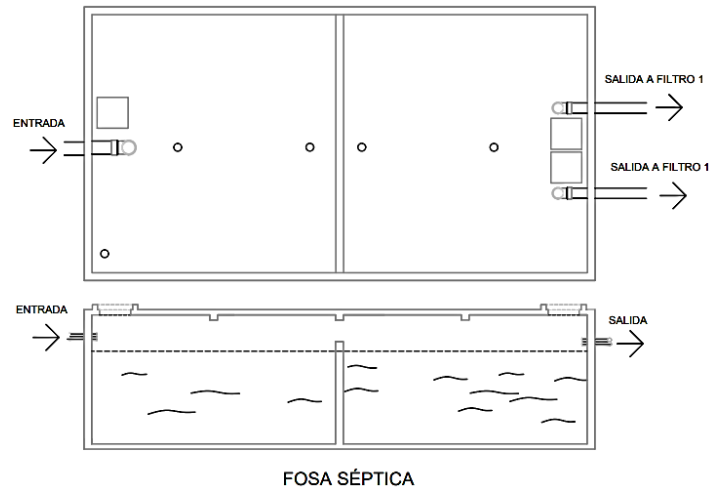
Figura 31. **PTAR, aldea El Zapote**



Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras. Construida de concreto cuenta con cuatro tubos de ventilación, tres tapaderas de registro, tiene dimensiones de tres metros de profundidad, cinco metros de ancho y diez metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de cinco metros de ancho y cinco metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal de 2,08 lps. El agua residual entra a la primera cámara la cual se lleva a cabo el proceso de digestión y decantación de la materia orgánica permitiendo que las aguas con menor cantidad de materia y solidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior. Al finalizar el proceso, el agua residual tratada pasara al tratamiento secundario.

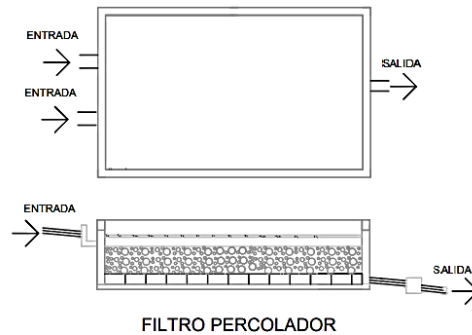
Figura 32. Esquema, tratamiento primario de la aldea El Zapote



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Tratamiento secundario: el tratamiento secundario está conformado por el sistema anaerobio de un filtro percolador con dimensiones de tres metros de ancho por tres metros de largo, el agua residual ingresa en la parte superior por una tubería de distribución uniforme sobre la superficie de material filtrante, en este caso, es piedra bola mediana de dos a seis pulgadas de diámetro y en la parte inferior un fondo falso para que salga el agua residual y a la vez mantenga el sistema ventilado. El proceso de filtración es biológico, retira los contaminantes en el agua residual. Al finalizar el proceso, el agua residual desfoga entra a una caja de contacto para desfogar finalmente en el río Ajaxa.

Figura 33. **Esquema, tratamiento secundario de la aldea El Zapote**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.2.7. Descripción PTAR, comunidad San Alfonso

Este sistema de tratamiento se encuentra a 422 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de 441 m<sup>2</sup>, el caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 500 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio aforado de: 0,70 lps. La tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de dos cámaras y un filtro percolador.

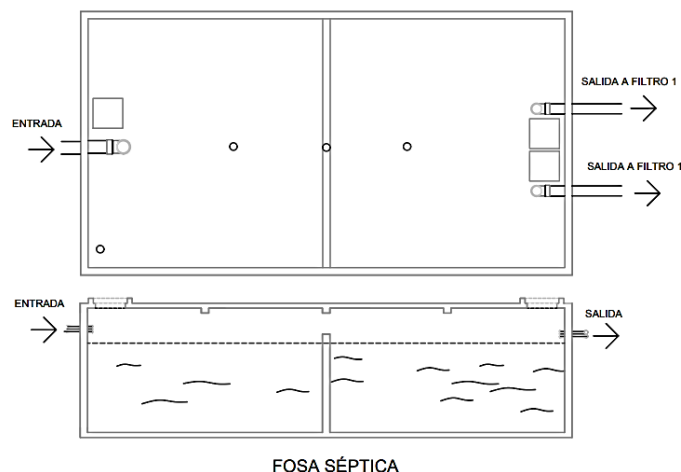
Figura 34. **PTAR, comunidad San Alfonso**



Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras. Construida de concreto, cuenta con tres tubos de ventilación cubiertas para evitar el ingreso de insectos o basura, tres tapaderas de registro, tiene tres metros de profundidad, cinco metros de ancho y diez metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de cinco metros de ancho y cinco metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal de 0,70 lps, el cual entra sin pretratamiento. El agua residual entra a la primera cámara en la cual se lleva a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica permitiendo que las aguas con menor cantidad de materia orgánica y sólidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior. Se estará ventilando este sistema por dos tuberías. Al finalizar el proceso, el agua residual tratada pasara al tratamiento secundario.

Figura 35. **Esquema, tratamiento primario de la aldea El Zapote**

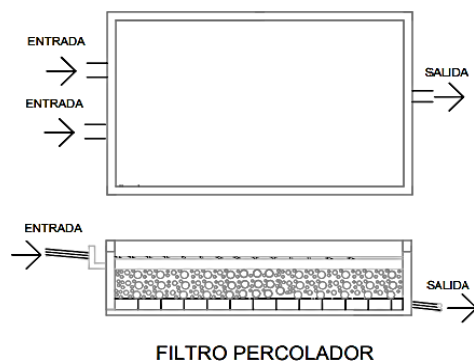


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Tratamiento secundario: el tratamiento secundario está conformado por un filtro percolador con dimensiones de cinco metros de ancho por seis

metros de largo, a este afluente ingresa en la parte superior y el efluente por la parte inferior. Es un sistema de tratamiento anaerobio natural, está equipado con una tubería de ingreso de cuatro pulgadas de diámetro agujerada que distribuye uniformemente el agua residual sobre el medio filtrante, en este caso piedra, bola mediana de dos a seis pulgadas de diámetro y en la parte inferior un fondo falso para que salga el agua residual. El proceso de filtración es biológico retira los contaminantes en el agua residual. Al finalizar el proceso, el agua residual pasa por una caja de cloración y desfoga en el río Ajaxa.

Figura 36. **Esquema, tratamiento secundario de la aldea El Zapote**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.2.8. Descripción PTAR, caserío Las Cruces

Este sistema de tratamiento se encuentra a 531 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de 441 m<sup>2</sup>, el caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 1 375 habitantes de la población de la cabecera urbana, tiene un caudal actual medio aforado de: 1,90 lps. La tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de dos cámaras y un filtro anaerobio de flujo ascendente.



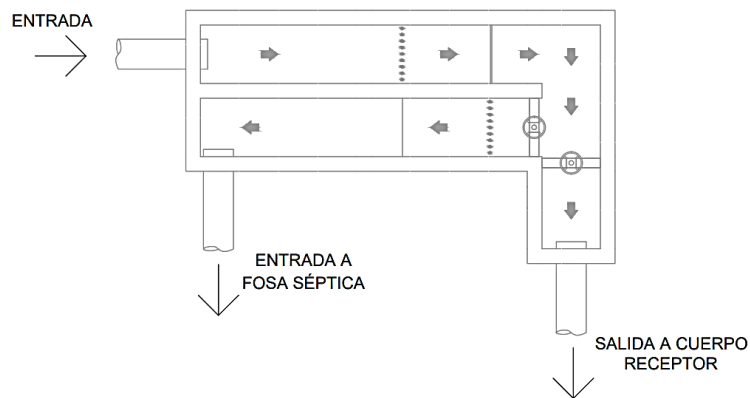
Figura 37. **PTAR, caserío Las Cruces**



Fuente: elaboración propia.

- Pretratamiento: el sistema de pretratamiento construido de concreto, está conformado por un canal de rejas metálicas, seguido por un vertedero de pared delgada para regular la velocidad del agua residual; por último, luego de atravesar una compuerta metálica, se encuentra de nuevo un canal de rejas metálicas, desfogando el agua residual al tratamiento primario. Es importante resaltar que el pretratamiento cuenta con una tubería de salida directa al cuerpo receptor (río Ajaxa).

Figura 38. **Esquema, pretratamiento de caserío Las Cruces**

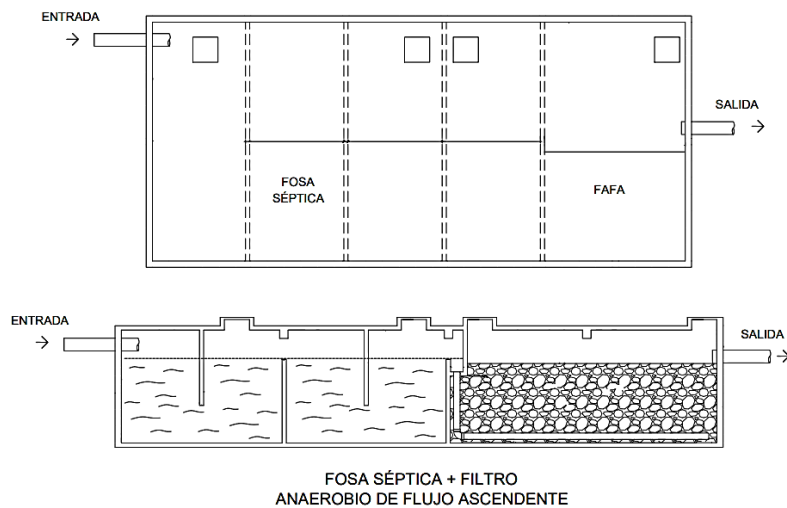


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras. Construida de concreto, cuenta con dos tapaderas de registro, tiene tres metros de profundidad, seis metros de ancho y ocho metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de seis metros de ancho y cuatro metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal de 1,90 lps. El agua residual entra a la primera cámara en la cual se lleva a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica que permite que las aguas con menor cantidad de materia orgánica y sólidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior. Se estará ventilando este sistema por dos tuberías. Al finalizar el proceso, el agua residual tratada pasara al tratamiento secundario.
- Tratamiento secundario: el tratamiento secundario está conformado por un filtro anaerobio de flujo ascendente con dimensiones de cinco metros de ancho por seis metros de largo. El agua residual ingresa en la parte inferior y el efluente por la parte superior. Es un sistema de tratamiento

anaerobio natural, está equipado con dos tapaderas de inspección, dos tuberías de ventilación, cuenta con una tubería de ingreso única de agua residual la cual asciende por el medio filtrante, en este caso, piedra bola mediana de dos a seis pulgadas de diámetro. El proceso de filtración es biológico, conforme las aguas residuales ascienden por el medio filtrante, las partículas son atrapadas y la materia orgánica es degradada por la biomasa adjunta a la superficie del marial filtrante. Al finalizar el proceso, el agua residual desfoga en el río Ajaxa.

Figura 39. **Esquema, tratamiento primario y secundario de caserío Las Cruces**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 3.2.9. Descripción PTAR, hotel Xetumuli

Este sistema de tratamiento se encuentra a 531 metros sobre el nivel del mar, dispone un espacio de 82 m<sup>2</sup>, el caudal de agua residual es de tipo ordinario de origen doméstico, atiende a 150 personas entre ellos huéspedes y

personal, tiene un caudal actual medio aforado de: 0,092 lps. La tecnología utilizada es anaerobia con una fosa séptica de dos cámaras.

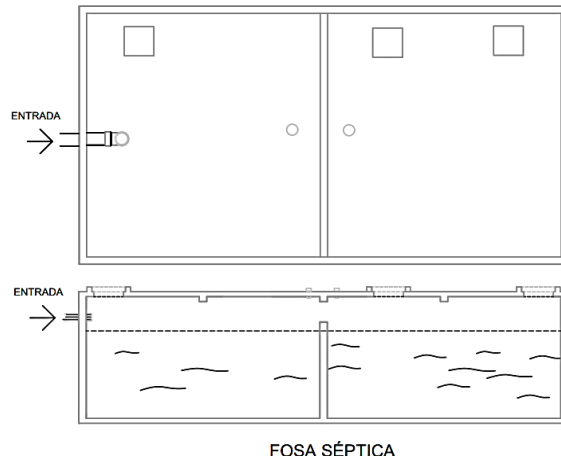
Figura 40. **PTAR, Hotel Xetumuli**



Fuente: elaboración propia.

- Tratamiento primario: el tratamiento primario está conformado por una fosa séptica de dos cámaras, el espacio que ocupa es utilizado como parqueo de sótano en las instalaciones del hotel. Construida de concreto, cuenta con tres tapaderas de inspección, tiene tres metros de profundidad, cinco metros de ancho y diez metros de largo, por lo que cada cámara tiene medidas de cinco metros de ancho y cinco metros de largo con tres metros de profundidad. A la fosa séptica ingresa un caudal de 0,092 lps. El agua residual entra a la primera cámara en la cual se lleva a cabo el proceso de descomposición de la materia orgánica permitiendo que las aguas con menor cantidad de materia orgánica y sólidos continúen a la segunda cámara en la que se repite el proceso anterior. Se estará ventilando este sistema por dos tuberías.

Figura 41. **Esquema, tratamiento primario hotel Xetumuli**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### **3.2.10. Descripción PTAR, Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA)**

El parque recreacional de los trabajadores (IRTRA), ubicado en Retalhuleu tiene un sistema completo de recolección de aguas residuales a través de una red de drenajes que por su topografía las aguas residuales van a descargar a catorce plantas de tratamiento de aguas residuales. El caudal de agua residual que recibe un proceso de tratamiento es de tipo ordinario de origen doméstico e industrial. Los sistemas de tratamiento son completos hasta con un sistema terciario y desinfección, los gases son capturados y tratados para no generar olores desagradables. Las plantas de tratamiento de aguas residuales cuentan con un sistema de tratamiento de tipo biológico, separado en pretratamiento, sistema de tratamiento primario, secundario, terciario y complementario.

- Sistema anaerobio
  - Componentes del sistema de tratamiento

Los sistemas diseñados cuentan con canal de rejas, sedimentador primario, clarificador, filtro biológico, cámara de desinfección, sistema de captura y tratamiento de gas, también tubería de interconexión y punto de toma de muestras.

- Pretratamiento: el sistema de pretratamiento construido de concreto, está conformado por un canal de rejas metálicas, cuenta con tubería de PVC de 125 psi para la entrada y salida del agua residual. Las aguas residuales van directamente al tratamiento primario.
- Tratamiento primario: el tratamiento primario es la primera cámara del sistema de tratamiento de aguas residuales conformada por un sedimentador primario. En esta cámara el agua residual tiene un tiempo de retención hidráulica de 8 a 12 horas. Construida de concreto, cuenta con tubería de entrada y salida de PVC de 4" de diámetro, una tapadera de visita para limpieza con empaque de hule. El agua residual entra a la cámara de sedimentación en la cual se lleva a cabo el proceso de separar grasas las cuales flotan y los sólidos se precipitan. En esta etapa se tiene una depuración estimada de un 30 % de remoción de demanda bioquímica de oxígeno. El sistema es ventilado por una tubería de PVC con 1 ½" de diámetro. Al finalizar el proceso, el agua residual pasara directamente al tratamiento secundario.

- Tratamiento secundario: el tratamiento secundario está conformado por un clarificador. El agua residual entra por una tubería de ingreso única con 4" de diámetro y una tubería de salida de PVC de 3" de diámetro. Construido de concreto, cuenta con una tapadera de visita para limpieza con empaque de hule y tubería de ventilación de PVC con 1 ½" de diámetro. Esta etapa tiene como objetivo clarificar el agua residual, lográndose a través de la sedimentación de los sólidos que aún pasan del sedimentador primario. Se tiene una remoción de un 10 % a 15 %. Al finalizar el proceso, el agua residual pasará directamente al tratamiento terciario.
  
- Tratamiento terciario: posteriormente a clarificar el agua residual se lleva hacia el tratamiento terciario conformado por un filtro biológico para lograr una mayor depuración del agua residual. Construido de concreto, cuenta con dos cámaras, una tapadera de visita para limpieza con empaque de hule en cada cámara, también una tubería de ventilación de PVC con 1 ½" de diámetro en cada cámara, una tubería de ingreso única con 4" de diámetro y una tubería de salida de PVC de 4" de diámetro en cada cámara. El proceso inicia al ingresar el agua residual a una cámara con un medio filtrante grueso y posteriormente a una cámara con 3 capas de grava y una capa de carbón activado, con una tubería en el fondo de ¾" de diámetro para retrolavado, con boquillas de ¼" de diámetro sobre la tubería perforada. Al finalizar el proceso, el agua residual pasara directamente a un tratamiento de desinfección.

- Tratamiento complementario: para lograr reducir los contaminantes en el agua residual y lograr cumplir con los requisitos dictados por el reglamento de aguas residuales, se tiene instalado un dosificador de cloro en tabletas, fabricado en plástico, utilizando hipoclorito de calcio al 68 %, el agua posteriormente pasa hacia un tanque de contacto con un tiempo de retención hidráulica no menor de 20 minutos. El tanque de contacto está construido de concreto, cuenta con una tapadera de visita para limpieza con empaque de hule, una tubería de ventilación de PVC con 1 ½” de diámetro y una tubería de entrada y salida de PVC de 4” de diámetro, posteriormente se desfogará directamente a un cuerpo receptor.

Figura 42. **PTAR, IRTRA (Xejuyup)**



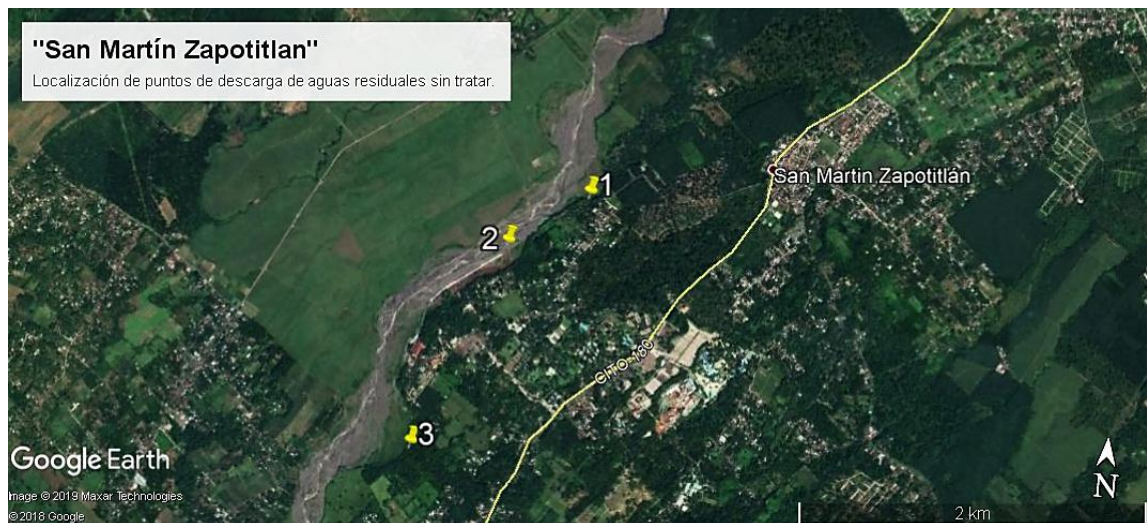
Fuente: Irtra Xejuyup. <https://www.facebook.com/GuzmanInternacional/>. Consulta: 20 de agosto de 2018.



### 3.3. Localización y ubicación de los puntos descargas de aguas residuales sin tratar

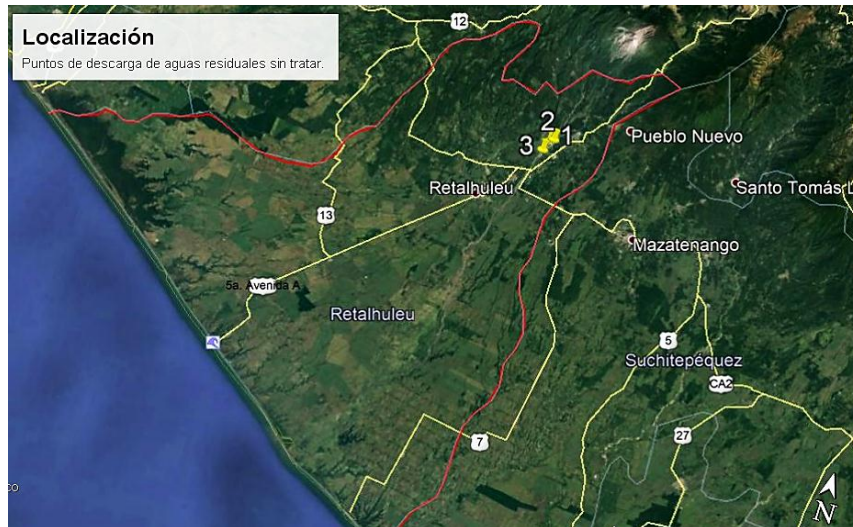
Los puntos de descargas de aguas residuales sin tratar en el municipio de San Martín Zapotitlán están ubicados en tres diferentes puntos de la aldea Esquipulas, utilizando como cuerpo receptor el río Samalá.

Figura 43. **Ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2019.

Figura 44. **Localización de los puntos de descarga de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2019.

Tabla II. **Ubicación y localización de los puntos de descarga de aguas residuales**

| Núm. | Comunidad                           | Coordenadas                |
|------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1    | Aldea Esquipulas                    | 14°36'18.5"n 91°37'03.6"w  |
| 2    | Aldea Esquipulas                    | 14°36'7.83"n 91°37'18.88"w |
| 3    | Aldea Esquipulas sector San Antonio | 14°35'28.0"n 91°37'34.5"w  |

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Descripción de los puntos de descargas de aguas residuales sin tratar

Los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar que son captados por la red de alcantarillado sanitario de la aldea Esquipulas en el municipio de San Martín Zapotitlán son descritos de la siguiente manera:

Tabla III. **Descripción de puntos de descarga de aguas residuales sin tratar**

| <b>Ubicación</b>                         | 1. Aldea Esquipulas             | 2. Aldea Esquipulas           | 3. Aldea Esquipulas                 |
|--|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Ente generador                           | Aldea Esquipulas y Casco Urbano | Aldea Esquipulas              | Aldea Esquipulas Sector San Antonio |
| Tipo de agua residual                    | Ordinario                       | Ordinario                     | Ordinario                           |
| Origen del agua residual                 | Doméstica                       | Doméstica                     | Doméstica                           |
| Usuarios que atiende                     | 1 750 hab                       | 625 hab                       | 250 hab                             |
| Caudal actual                            | 2,43 lps                        | 0,87 lps                      | 0,35 lps                            |
| Coordenadas Geográficas                  | 14°36'18.5"N<br>91°37'03.6"W    | 14°36'7.83"N<br>91°37'18.88"W | 14°35'28.0"N<br>91°37'34.5"W        |
| Altura sobre el nivel del mar            | 474 msnm                        | 451 msnm                      | 478 msnm                            |
| Temperatura del agua                     | 25 °C                           | 27 °C                         | 25 °C                               |
| Temperatura ambiental                    | 28 °C                           | 29 °C                         | 29 °C                               |
| Horarios de descarga de aguas residuales | 24 horas                        | 24 horas                      | 24 horas                            |
| Tipo de drenaje                          | Sanitario                       | Sanitario                     | Sanitario                           |
| Cuerpo Receptor                          | Río Samalá                      | Río Samalá                    | Río Samalá                          |
| ¿Cuenta con caracterización de lodos?    | No                              | No                            | No                                  |
| ¿Posee caracterización aguas residuales? | No                              | Si                            | No                                  |

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea Esquipulas núm. 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. **Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea Esquipulas núm. 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea Esquipulas núm. 3**

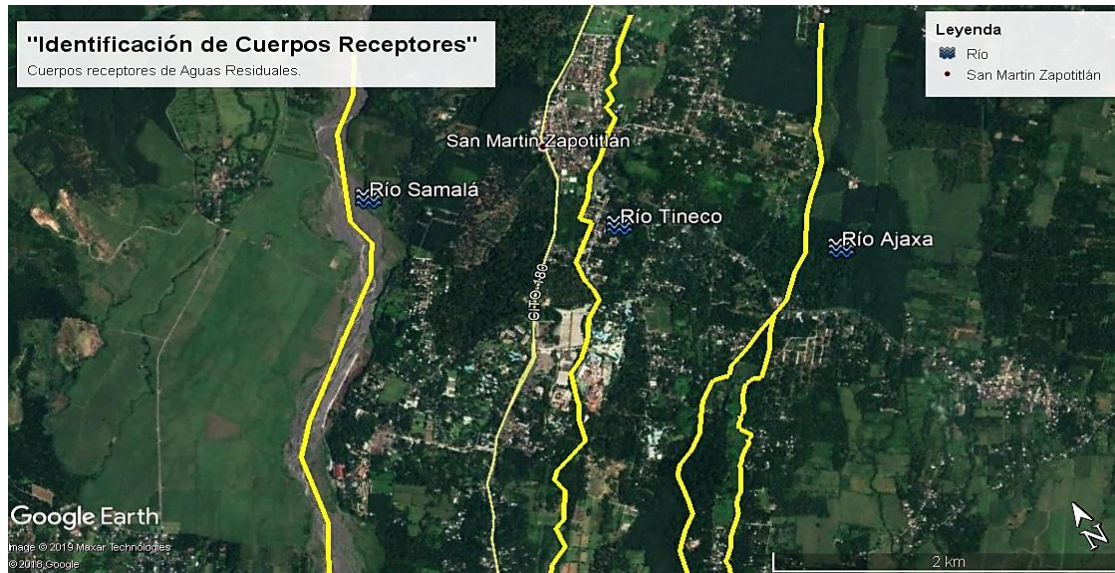


Fuente: elaboración propia.

### **3.5. Identificación de cuerpos receptores**

En el municipio de San Martín Zapotitlán, los ríos que se han determinado a ser utilizados como cuerpos receptores de aguas residuales tratadas y sin tratar son los ríos Salamá, Tineco y Ajaxa.

Figura 48. **Identificación de cuerpos receptores de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2019.

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas

En el municipio de San Martín Zapotitlán existen ocho plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y dieciséis plantas de tratamiento de aguas residuales de origen privado.

Tabla IV. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales

| Núm. | Descripción                               | Lugar                       |
|------|---|-----------------------------|
| 1    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Comunidad Armenia Ortiz     |
| 2    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Comunidad La Loma           |
| 3    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Caserío Santa Teresita      |
| 4    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Caserío Santa Teresita (II) |
| 5    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Comunidad San Antonio Ortiz |
| 6    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Aldea El Zapote             |
| 7    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Comunidad San Alfonso       |
| 8    | Planta de tratamiento de aguas residuales | Caserío Las Cruces          |
| 9    | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (XEJUYUP)             |
| 10   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (XEJUYUP)             |
| 11   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (XEJUYUP)             |
| 12   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (XEJUYUP)             |
| 13   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (XEJUYUP)             |
| 14   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Corozos 1-2)         |
| 15   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Corozos 3- 4)        |
| 16   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Corozos 5)           |
| 17   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Casa Ejecutiva)      |
| 18   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Casa Administrador)  |
| 19   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Xocomil)             |
| 20   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Salida Francia)      |

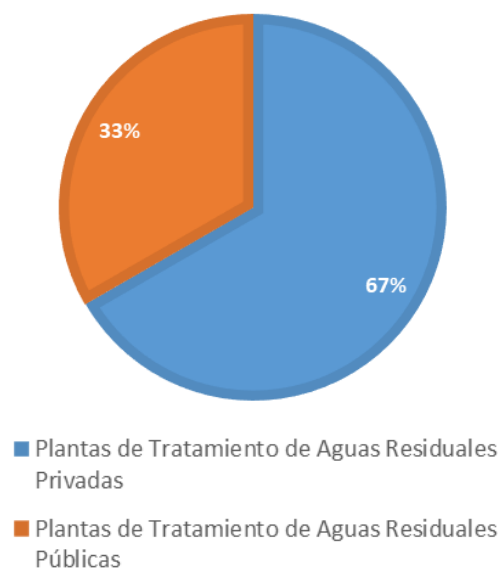
Continuación de la tabla IV.

| Núm. | Descripción                               | Lugar                        |
|------|---|------------------------------|
| 21   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Salida Plaza chapina) |
| 22   | Planta de tratamiento de aguas residuales | IRTRA (Salida Internacional) |
| 23   | Planta de tratamiento de aguas residuales | Hotel Xetumuli               |
| 24   | Planta de tratamiento de aguas residuales | Condominio Las Fuentes       |

|  |                |
|--|----------------|
| Total de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas | Ocho (8)       |
| Total de plantas de tratamiento de aguas residuales privadas | Dieciséis (16) |

Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas, San Martín Zapotitlán**



Fuente: elaboración propia.



En el municipio de San Martín Zapotitlán según la figura 49, la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas son privadas, siendo evidente el compromiso del tratamiento de aguas residuales en las entidades privadas. La totalidad de las entidades privadas existentes en el municipio, según la tabla IV, poseen plantas de tratamiento de aguas residuales.

#### 4.2. Resumen de inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas por tipo de proceso

Las veintitrés plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Martín Zapotitlan del departamento de Retalhuleu, se clasificaron por los tipos de procesos aerobicos, anaerobios y combinación de estos.

Tabla V. **Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales por tipo de proceso**

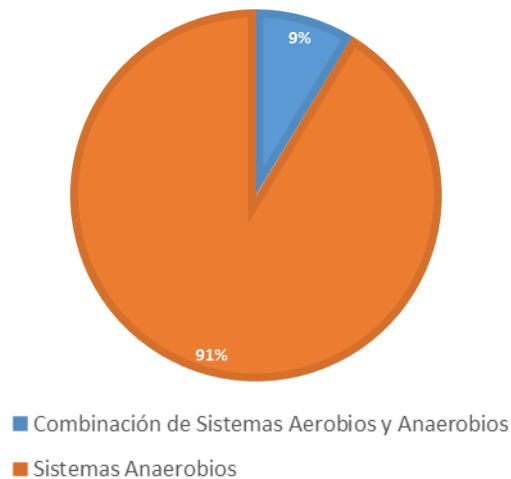
| Sistemas                                      | Tipo de proceso   | Lugar  | Cantidad |
|---|---|--|----------|
| Sistemas anaerobios                           | Tratamiento primario  | Caserío Santa Teresita.<br>Comunidad San Antonio Ortiz.<br>Hotel Xetumuli. | Cuatro   |
|   | Tratamiento primario y tratamiento secundario                   | Aldea El Zapote.<br>Comunidad San Alfonso.                                 | Dos      |
|   | Pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario   | Caserío Las Cruces.<br>IRTRA   | Quince   |
| Sistemas aerobios                             | N/D   | N/D  | N/D      |
| Combinación de sistemas aerobios y anaerobios | Tratamiento primario aerobio y tratamiento secundario anaerobio | Comunidad Armenia Ortiz.<br>Comunidad La Loma.                             | Dos      |

N/D= No hay datos, no existen actualmente sistemas aerobios.

|   |                |
|---|----------------|
| Sistemas anaerobios                           | Veintiuno (21) |
| Combinación de sistemas aerobios y anaerobios | Dos (2)        |
| Sistemas aerobios                             | Ninguno        |

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Clasificación de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas, San Martín Zapotitlán**



Fuente: elaboración propia.

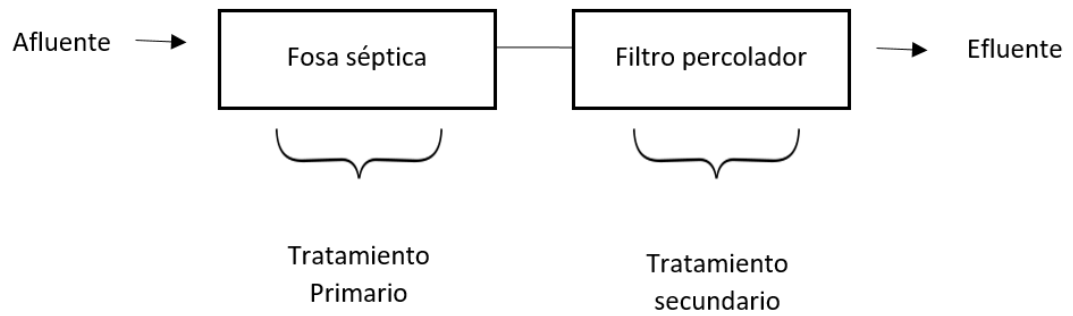
Según los resultados que se encuentran en la figura 50 la mayoría de los sistemas utilizados para el tratamiento de aguas residuales son sistemas anaerobios, posiblemente sea debido a lo económico del sistema ya que no se utiliza electricidad para su funcionamiento, ocupa menor espacio y se adapta mejor a las condiciones topográficas de los diferentes terrenos.

#### **4.3. Diagramas de los principales procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales**

Los siguientes diagramas describen los componentes que conforman las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas del municipio de San Martín Zapotitlán.

- Comunidad Armenia Ortiz

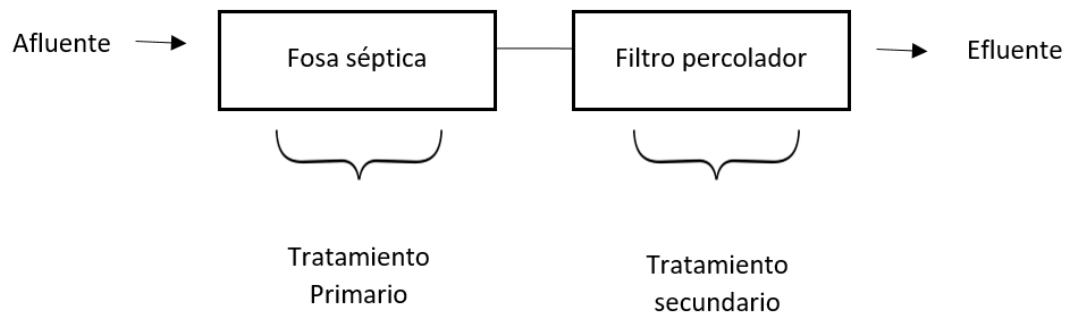
Figura 51. **Diagrama PTAR, comunidad Armenia Ortiz**



Fuente: elaboración propia.

- Comunidad La Loma

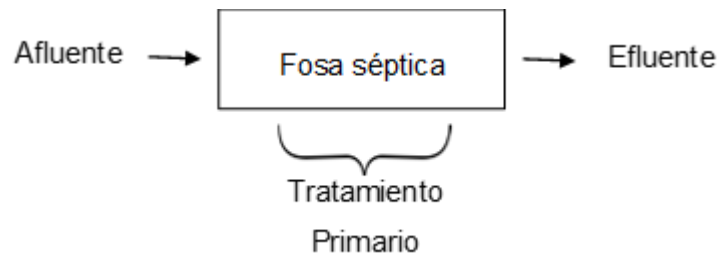
Figura 52. **Diagrama PTAR, comunidad La Loma**



Fuente: elaboración propia.

- Caserío Santa Teresita

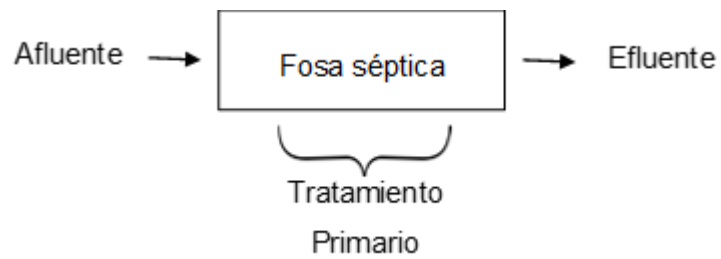
Figura 53. **Diagrama PTAR, caserío Santa Teresita**



Fuente: elaboración propia.

- Caserío Santa Teresita (II)

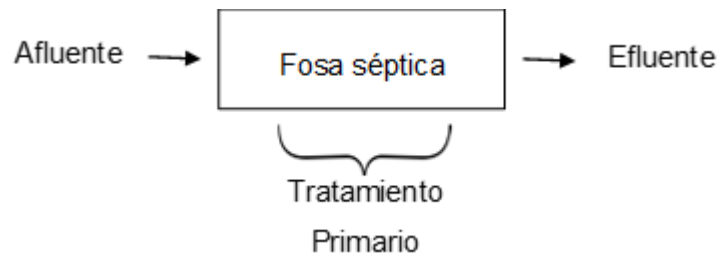
Figura 54. **Diagrama PTAR, caserío Santa Teresita (II)**



Fuente: elaboración propia.

- Comunidad San Antonio Ortiz

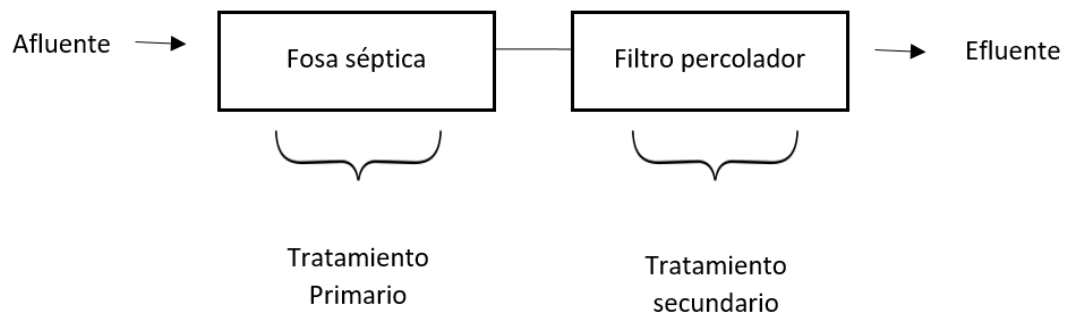
Figura 55. **Diagrama PTAR, comunidad San Antonio Ortiz**



Fuente: elaboración propia.

- Aldea El Zapote

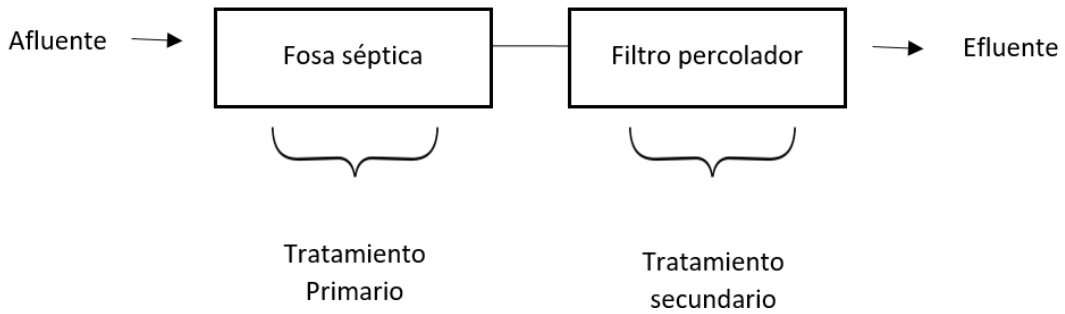
Figura 56. **Diagrama PTAR, aldea El Zapote**



Fuente: elaboración propia.

- Comunidad San Alfonso

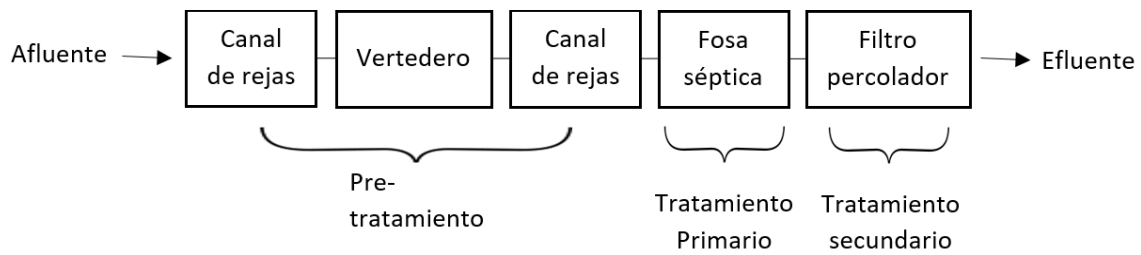
Figura 57. **Diagrama PTAR, comunidad San Alfonso**



Fuente: elaboración propia.

- Caserío Las Cruces

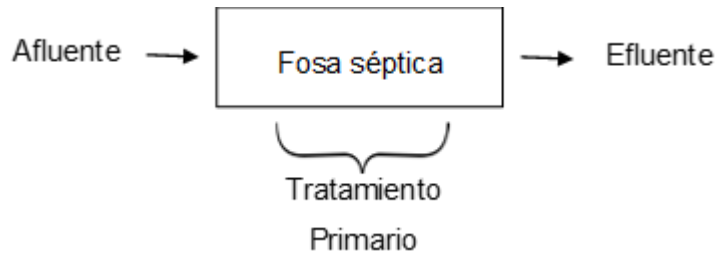
Figura 58. **Diagrama PTAR, caserío Las Cruces**



Fuente: elaboración propia.

- Hotel Xetumuli

Figura 59. **Diagrama PTAR, Hotel Xetumuli**



Fuente: elaboración propia.

#### 4.4. Inventario de los puntos de descargas de aguas residuales

En el municipio de San Martín Zapotitlán existen actualmente un total de tres puntos de descarga de aguas residuales sin tratar, que desfogon directamente al río Samalá.

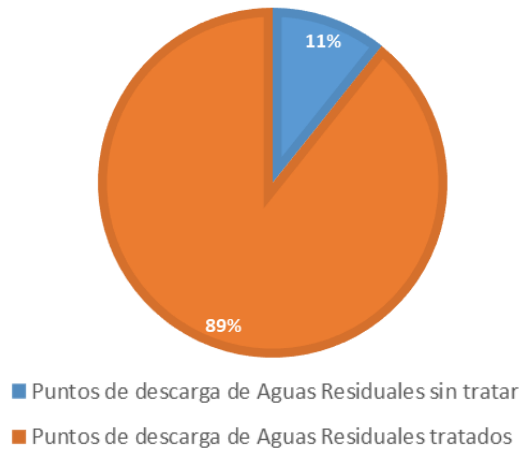
Tabla VI. **Inventario de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar**

| Núm. | Descripción                       | Lugar            |
|------|-----------------------------------|------------------|
| 1    | Punto de descarga sin tratamiento | Aldea Esquipulas |
| 2    | Punto de descarga sin tratamiento | Aldea Esquipulas |
| 3    | Punto de descarga sin tratamiento | Aldea Esquipulas |

|  |          |
|--|----------|
| Total de puntos de descargas de aguas residuales sin tratamiento | Tres (3) |
|--|----------|

Fuente: elaboración propia.

Figura 60. **Puntos de descarga de aguas residuales sin tratar en el municipio de San Martín Zapotitlán**



Fuente: elaboración propia.

Según la figura 60 es evidente la preocupación por tratar las aguas residuales en el municipio de San Martín Zapotitlán, debido que la mayoría de descargas de aguas residuales (89 %) está recibiendo tratamiento, logrando evitar impactar a los cuerpos receptores río Tineco y Ajaxá.

#### **4.5. Cumplimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y puntos de descarga existentes en comparación con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos***

En el municipio de San Martín Zapotitlán se realizaron varios estudios técnicos para aguas residuales de acuerdo con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, para las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas, también, para los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar.



**Tabla VII. Resumen de acuerdo con el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006**

| No. | Ente generador               | Estudio técnico de aguas residuales (Acuerdo Gubernativo 236-2006) | ¿Cumple con los límites máximos Permisibles? |
|-----|------------------------------|--|--|
| 1   | Comunidad Armenia Ortiz      | No   | S/I  |
| 2   | Comunidad La Loma            | No   | S/I  |
| 3   | Caserío Santa Teresita       | No   | S/I  |
| 4   | Caserío Santa Teresita       | No   | S/I  |
| 5   | Comunidad San Antonio Ortiz  | Sí   | Cumple con la primera etapa.                 |
| 6   | Aldea El Zapote              | Sí   | No cumple con la primera etapa.              |
| 7   | Comunidad San Alfonso        | No   | S/I  |
| 8   | Caserío Las Cruces           | No   | S/I  |
| 9   | IRTRA (XEJUYUP)              | Sí   | S/I*   |
| 10  | IRTRA (XEJUYUP)              | Sí   | S/I*   |
| 11  | IRTRA (XEJUYUP)              | Sí   | S/I*   |
| 12  | IRTRA (XEJUYUP)              | Sí   | S/I*   |
| 13  | IRTRA (XEJUYUP)              | Sí   | S/I*   |
| 14  | IRTRA (Corozos 1-2)          | Sí   | Cumple con la primera etapa.                 |
| 15  | IRTRA (Corozos 3- 4)         | Sí   | S/I*   |
| 16  | IRTRA (Corozos 5)            | Sí   | Cumple con la primera etapa.                 |
| 17  | IRTRA (Casa Ejecutiva)       | Sí   | Cumple con la primera etapa.                 |
| 18  | IRTRA (Casa Administrador)   | Sí   | S/I*   |
| 19  | IRTRA (Xocomil)              | Sí   | Cumple con la primera etapa.                 |
| 20  | IRTRA (Salida Francia)       | Sí   | Cumple con la primera etapa.                 |
| 21  | IRTRA (Salida Plaza chapina) | Sí   | Cumple con la primera etapa.                 |

S/I= Sin información.

S/I\*= No se obtuvo información debido a políticas de privacidad.

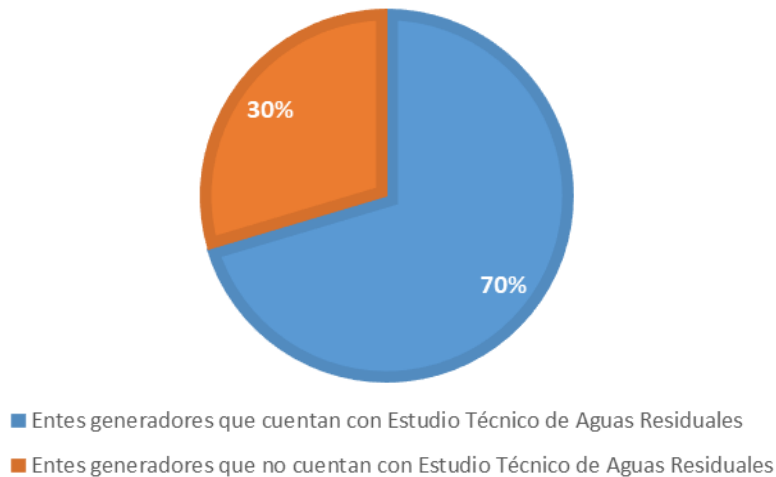
|   |                 |
|---|-----------------|
| Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que cuentan con estudios técnicos de aguas residuales.    | Diecinueve (19) |
| Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que no cuentan con estudios técnicos de aguas residuales. | Ocho (8)        |

Continuación de la tabla VII.

|  |            |
|--|------------|
| Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que cumplen con los límites permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006.    | Ocho (8)   |
| Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que no cumplen con los límites permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006. | Cuatro (4) |

Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Estudios técnicos realizados de acuerdo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los datos vertidos de la figura 61 en el municipio de San Martín Zapotitlán la mayoría de los entes generadores de los puntos de descarga de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento han realizado un estudio técnico dictado por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. En la tabla VII es evidente que todos los entes generadores de origen privado han realizado dicho estudio técnico, por lo que deja notar la responsabilidad al tratamiento de aguas residuales en las entidades privadas.

#### 4.6. Caudal de aguas residuales por cada ente generador

En el municipio de San Martín Zapotitlán se aforaron los puntos de descarga de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento, a continuación, se muestran los resultados.

Tabla VIII. **Caudales de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento**

| Núm | Lugar                       | Caudal medio (lps) |
|-----|-----------------------------|--------------------|
| 1   | Comunidad armenia Ortiz     | 1,470              |
| 2   | Comunidad la loma           | 1,042              |
| 3   | Caserio santa teresita      | 0,420              |
| 4   | Caserio santa teresita (ii) | 0,700              |
| 5   | Comunidad san antonio ortiz | 0,650              |
| 6   | Aldea el zapote             | 2,080              |
| 7   | Comunidad san Alfonso       | 0,700              |
| 8   | Caserio las cruces          | 1,900              |
| 9   | Hotel Xetumuli              | 0,092              |
| 10  | IRTRA (XEJUYUP)             | S/I*               |
| 11  | IRTRA (XEJUYUP)             | S/I*               |
| 12  | IRTRA (XEJUYUP)             | S/I*               |
| 13  | IRTRA (XEJUYUP)             | S/I*               |
| 14  | IRTRA (XEJUYUP)             | S/I*               |
| 15  | IRTRA (Corozos 1-2)         | S/I*               |
| 16  | IRTRA (Corozos 3- 4)        | S/I*               |
| 17  | IRTRA (Corozos 5)           | S/I*               |
| 18  | IRTRA (Casa Ejecutiva)      | S/I*               |

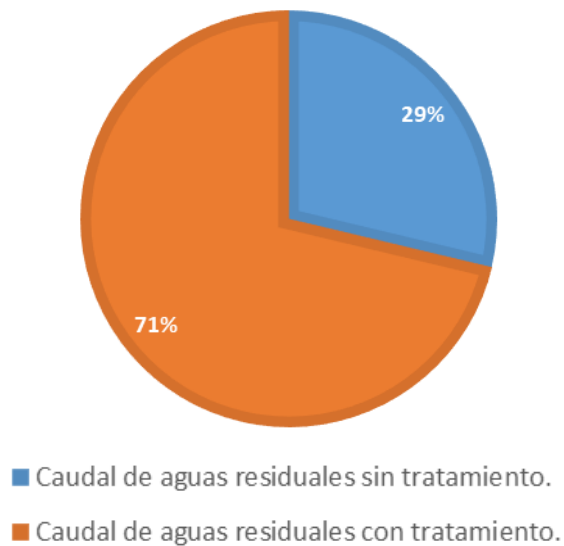
Continuación de la tabla VIII.

|    |                              |       |
|----|------------------------------|-------|
| 19 | IRTRA (Casa Administrador)   | S/I*  |
| 20 | IRTRA (Xocomil)              | S/I*  |
| 21 | IRTRA (Salida Francia)       | S/I*  |
| 22 | IRTRA (Salida Plaza chapina) | S/I*  |
| 23 | IRTRA (Salida Internacional) | S/I*  |
| 24 | Condominio Las Fuentes       | S/I*  |
| 25 | Aldea Esquipulas             | 2,430 |
| 26 | Aldea Esquipulas             | 0,870 |
| 27 | Aldea Esquipulas             | 0,350 |

S/I\* = no se obtuvo información debido a políticas de privacidad.

Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Caudales de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento**



Fuente: elaboración propia.

Según la figura 62, la mayor cantidad de caudales de aguas residuales producidos dentro del municipio de San Martín Zapotitlán está recibiendo tratamiento. Por consiguiente, se deduce que 3,6 lps de agua residual no tratada se vierte en el río Samalá.



## CONCLUSIONES

1. En el municipio de San Martín Zapotitlán de Retalhuleu existen actualmente ocho plantas de tratamiento de aguas residuales de origen público, ubicadas en: comunidad Armenia Ortiz, comunidad La Loma, caserío Santa Teresita, comunidad San Antonio Ortiz, aldea El Zapote, comunidad San Alfonso y caserío Las Cruces; asimismo, se tienen diecisiete plantas de tratamiento de aguas residuales de origen privado que corresponden al hotel Xetumuli, condominio Las Fuentes y al Instituto de Recreación de los Trabajadores (IRTRA).
2. En el municipio de San Martín Zapotitlán de Retalhuleu se contabilizaron tres puntos de descargas de aguas residuales que no recibe tratamiento, los cuales se ubican en la aldea Esquipulas; dichas descargas corresponden al agua residual generada por 2 625 habitantes del casco urbano, aldea Esquipulas y sector San Antonio, los cuales descargan directamente al río Samalá.

En el municipio de San Martín Zapotitlán de Retalhuleu, se estableció como cuerpos receptores tanto para descargar sin tratamiento, como para el efluente de las PTAR los ríos, Samalá, Tineco y Ajaxá.

3. El municipio de San Martín Zapotitlán de Retalhuleu cuenta actualmente con veinticuatro plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas que comprenden a sistemas anaerobios, aerobio y combinación de ambos. Cuatro sistemas son anaerobios y cuentan únicamente con tratamiento primario, dos sistemas anaerobios y cuentan con tratamiento

primario y tratamiento secundario, quince sistemas son anaerobios y cuentan con pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario y dos son combinación de sistemas aerobios y anaerobios.

4. Dentro del municipio de San Martín Zapotitlán de Retalhuleu, se contabilizaron veinte plantas de tratamiento de aguas residuales que cuentan con un estudio técnico de acuerdo al Acuerdo Gubernativo 236-2006. Ocho PTARS que no cuentan con un estudio técnico de aguas residuales. según los estudios técnicos realizados se determinó que nueve plantas de tratamiento de aguas residuales cumplen con los límites permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la municipalidad realizar la operación y el mantenimiento adecuado bajo los estándares de los manuales de operación que presenta cada sistema que conforma la planta de tratamiento de aguas residuales, para garantizar su buen funcionamiento y conservación.
2. A las autoridades municipales velar por la capacitación adecuada del personal que operará y dará mantenimiento a las plantas de tratamiento de aguas residuales.
3. A las autoridades municipales y gubernamentales del sector ambiental, utilizar la información generada por la presente investigación y realizar un control de los puntos de descarga sin tratamiento y de las plantas de tratamiento que no cumplen con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
4. A cualquier interesado en el tratamiento de aguas residuales, para la descripción de un proyecto de plantas de tratamiento de aguas residuales, conocer y analizar la legislación ambiental guatemalteca enfocada en aguas residuales.
5. A la población, en general, se le recomienda conocer cuáles son los ríos que son utilizados como cuerpos receptores de aguas residuales para tomar las precauciones de salud e higiene necesarias si se hará uso de las mismas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO OCÓN, Guillermo. *Caracterización, evaluación y propuesta de tratamiento de las aguas residuales de una industria de fabricación de envases de aluminio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019. 59 p.
2. BARNES, D; WILSON, F. *El diseño y operación de pequeñas obras de alcantarillado*. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., 1976. 121 p.
3. CÁRDENAS, Y. *Tratamiento de agua: coagulación y floculación*. Perú: SEDAPAL, 2000. 45 p.
4. Centro Nacional de Salud Urbana e Industrial. *Manual de práctica de fosas sépticas*. Estados Unidos: Centro Nacional de Salud, 2007. 210 p.
5. FERRER, José; SECO, Aurora; ROBLES, Ángel. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. 3a ed. España: Universitat Politècnica de València, 2010. 230 p.
6. Index. *Google Earth*. [en línea]. <<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>>. [Consulta: 10 de febrero de 2019].

7. Instituto Nacional de Estadística. *Censos nacionales, XII de población y VII de vivienda de Guatemala*. Guatemala: Gobierno de Guatemala, 2018. 80 p.
8. Metcalf & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a ed. España: McGraw-Hill, 1998. 120 p.
9. OAKLEY, Stewart. *Lagunas de estabilización en Honduras*. Honduras: FHIS, 2005. p 255.
10. OAKLEY, Stewart; SALGUERO, Louis. *Tratamiento de aguas residuales de Honduras: tratamiento primario mejorado químicamente y Tecnologías de tratamiento secundario sostenibles para uso con tanques Imhoff*. Estados Unidos: Instituto de Tecnología de Massachusetts, Cambridge, 2009. 203 p.
11. OPS-CEPIS *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Perú: Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la OMS, 2005. 232 p.
12. RODRIGUEZ, Raquel. *Reactor de pantalla de almacenamiento anaeróbico: modelado*. Suiza: Escuela de Ciencia e Ingeniería Química, Instituto Real de Tecnología Estocolmo, 2011. 140 p.
13. Segeplan. *Retalhuleu. Plan de desarrollo municipal de San Martín Zapotitlán, Retalhuleu 2011-2025 (PDM)*. Guatemala: municipalidad de San Martín Zapotitlán, 2010. 79 p.

14. SIÁN YOC, W. A. *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y resumen de propuestas de inversión*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018. 240 p.
15. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, Desinfección con cloro*. Estados Unidos: Office of Water, Washington, D.C., 1999. 230 p.
16. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Manual de diseño de control de nutrientes, informe de revisión del estado de la tecnología*. Estados Unidos: Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, 2009. 121 p.
17. Weather spark. *El clima promedio en San Martín Zapotitlán* [en línea]. <<https://es.weatherspark.com>>. [Consulta: 6 de febrero de 2019].



# APÉNDICE

## Apéndice 1. Formulario de recolección de datos de las visitas de campo realizadas a cada punto de descarga y planta de tratamiento de aguas residuales



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela Civil



**YILDA LOPEZ Cel: 4703-5971**  
**FORMULARIO DE INFORMACIÓN VISITA DE CAMPO**  
**PLANTAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES**

Completar el máximo de información requerida.

### Datos generales

|                        |     |          |  |
|------------------------|-----|----------|--|
| Fecha                  |     | Teléfono |  |
| Nombre PTAR            | No: |          |  |
| Dirección del proyecto |     |          |  |
| Municipio              |     |          |  |
| Departamento           |     |          |  |

### Características de la PTAR

| 1. Componentes                               | Tabla 1. |
|--|----------|
| 2. Origen del agua residual                  |          |
| 3. Usuarios que atiende la PTAR              |          |
| 4. Caudal actual                             |          |
| 5. Área que ocupa la PTAR                    |          |
| 6. Coordenadas geográficas                   |          |
| 7. ASNM                                      |          |
| 8. Temperatura del agua                      |          |
| 9. Temperatura ambiental                     |          |
| 10. Tipo de drenaje (combinado o separativo) |          |

### Cuerpo Receptor

Coordenadas: \_\_\_\_\_

Río o quebrada

Alcantarillado público

Mar

Lago

Pozo de infiltración

Reuso

Otro \_\_\_\_\_

### Topografía del terreno de la PTAR

Plana

Semiondulada

Ondulada

Quebrada

Muy Quebrada

### Se da mantenimiento

Sí  No

### Utiliza Energía Eléctrica

Sí  No

### Estado físico PTAR

Bueno Regular Malo





Continuación del apéndice 1.



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela Civil



**YILDA LOPEZ**  
**FORMULARIO DE INFORMACION DE VISITA DE CAMPO**  
**PUNTOS DE DESCARGAS**

Completar el máximo de información requerida.

**Datos Generales**

|                        |    |          |
|------------------------|----|----------|
| Fecha de la Inspección | de | del 2019 |
|------------------------|----|----------|

|   |  |
|---|--|
| Nombre del residencial o ente generador |  |
| Dirección del proyecto                  |  |
| Municipio                               |  |
| Departamento                            |  |
| Persona que dio acompañamiento          |  |

**Características**

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. Origen del agua residual      |  |
| 2. Caudal Actual                 |  |
| 3. Coordenadas geográficas       |  |
| 4. ASNM                          |  |
| 5. Temperatura del agua          |  |
| 6. Temperatura ambiental         |  |
| 7. Tipo de drenaje               |  |
| 8. Horarios de descarga de aguas |  |

**Cuerpo Receptor**

Coordenadas:

|                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Rio o quebrada         |
| <input type="checkbox"/> | Alcantarillado público |
| <input type="checkbox"/> | Mar                    |
| <input type="checkbox"/> | Lago                   |
| <input type="checkbox"/> | Pozo de infiltración   |
| <input type="checkbox"/> | Reuso                  |
| <input type="checkbox"/> | Otro _____             |

¿Cuenta con caracterización de lodos?

Si       N/A       No

¿Posee caracterización el efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables?

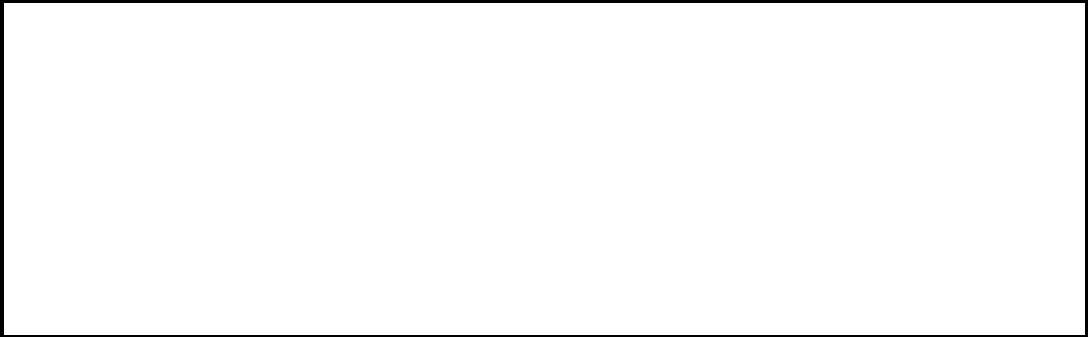
Si       No

Continuación del apéndice 1.

OBSERVACIONES:

|  |
|--|
|  |
|  |

CROQUIS VISTA DE PLANTA



Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. **Análisis de los resultados de la caracterización de las descargas de aguas residuales del municipio de San Martín Zapotitlán**

- Informe de resultados de análisis M-1 (desfogue principal cabecera municipal) ubicado en cantón Esquipulas.

#### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

**Datos del Cliente**

Cliente: Municipalidad de San Martín Zapotitlán  
 Responsable: Ing. Oscar López  
 Dirección: San Martín Zapotitlán, Retalhuleu

**Datos de la muestra**

|                     |  |                             |                                  |
|---------------------|--|-----------------------------|----------------------------------|
| Lugar de muestreo:  | Municipalidad de San Martín Zapotitlán | Muestra simple o compuesta: | Simple                           |
| Referencia cliente: | San Martín Zap. M-1                    | Responsable del muestreo:   | CLIENTE                          |
| Fecha de monitoreo: | 20 de abril de 2017                    | Temperatura de almacenaje:  | 5 °C                             |
| Hora de monitoreo:  | 10:00                                  | Recipiente utilizado:       | Plástico, vidrio y bolsa estéril |
| Tipo de muestra:    | Agua residual ordinaria                | Método de preservación:     | INS04-MUE                        |
| Código de muestra:  | 17-1330-1                              |                             |                                  |
| Lote:               | 17-1330                                |                             |                                  |

**Datos de Laboratorio**

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 20 de abril de 2017  
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 11:00  
 Fecha de informe: 08 de mayo de 2017

| Análisis                                  | Dimensional <sup>(1)</sup> | Límite de Detección | Resultados |
|---|----------------------------|---------------------|------------|
| Cianuro                                   | mg/L - CN                  | 0.010               | < 0.010    |
| Color                                     | u Pt-Co                    | 1                   | 222        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno             | mg/L - O <sub>2</sub>      | 10                  | 130        |
| Demanda Química de Oxígeno <sup>(2)</sup> | mg/L - O <sub>2</sub>      | 10                  | 208        |
| Relación DQO/DBO                          | ---                        | ---                 | 1.6        |
| Fósforo Total                             | mg/L - P                   | 0.060               | 3.60       |
| Grasas y Aceites                          | mg/L                       | 5                   | 7          |
| Materia Flotante                          | ---                        | Presente/Ausente    | Presente   |
| Nitrógeno Total                           | mg/L - N                   | 0.50                | 17.00      |
| pH  | ---                        | 0.01                | 6.82       |
| Sólidos Sedimentables                     | mL/L                       | 0.1                 | 1.5        |
| Sólidos Suspendidos                       | mg/L                       | 10                  | 82         |
| Temperatura                               | °C                         | 0.1                 | 27.0       |
| Coliformes fecales                        | NMP/100mL                  | 1.8                 | 5,400,000  |

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) El análisis de DQO (Método: Coguanor NGO 29 014 h8) es acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-1

Continuación del anexo 1.

| Análisis                  | Dimensional <sup>(1)</sup> | Límite de Detección | Resultados | Método de análisis <sup>(2)</sup> |
|---------------------------|----------------------------|---------------------|------------|-----------------------------------|
| Arsénico                  | mg/L - As                  | 0.0015              | 0.0023     | STM 3114 B                        |
| Cadmio                    | mg/L - Cd                  | 0.0095              | < 0.0095   | STM 3111 B                        |
| Cobre                     | mg/L - Cu                  | 0.040               | < 0.040    | STM 3111 B                        |
| Cromo (VI) <sup>(3)</sup> | mg/L - Cr                  | 0.010               | < 0.010    | Merck 1.14552.001                 |
| Mercurio                  | mg/L - Hg                  | 0.0012              | < 0.0012   | STM 3112 B                        |
| Níquel                    | mg/L - Ni                  | 0.250               | < 0.250    | STM 3111 B                        |
| Plomo                     | mg/L - Pb                  | 0.070               | < 0.070    | STM 3111 B                        |
| Zinc                      | mg/L - Zn                  | 0.090               | < 0.090    | STM 3111 B                        |

(1) mg/L = ppm.

(2) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22nd Edition 2012.

(3) Análisis no acreditado.

- Informe de resultados de análisis M-2 (desfogue comunidad san Antonio Ortiz) ubicado en comunidad San Antonio Ortiz.

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Municipalidad de San Martín Zapotitlán  
 Responsable: Ing. Oscar López  
 Dirección: San Martín Zapotitlán, Retalhuleu

#### Datos de la muestra

|                     |  |                             |                                  |
|---------------------|--|-----------------------------|----------------------------------|
| Lugar de muestreo:  | Municipalidad de San Martín Zapotitlán | Muestra simple o compuesta: | Simple                           |
| Referencia cliente: | San Martín Zap. M-2                    | Responsable del muestreo:   | CLIENTE                          |
| Fecha de monitoreo: | 20 de abril de 2017                    | Temperatura de almacenaje:  | 5 °C                             |
| Hora de monitoreo:  | 10:30                                  | Recipiente utilizado:       | Plástico, vidrio y bolsa estéril |
| Tipo de muestra:    | Agua residual ordinaria                | Método de preservación:     | INS04-MUE                        |
| Código de muestra:  | 17-1330-2                              |                             |                                  |
| Lote:               | 17-1330                                |                             |                                  |

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 20 de abril de 2017  
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 18:30  
 Fecha de informe: 08 de mayo de 2017

| Análisis                                  | Dimensional <sup>(1)</sup> | Límite de Detección | Resultados |
|---|----------------------------|---------------------|------------|
| Cianuro                                   | mg/L - CN <sup>-</sup>     | 0.010               | < 0.010    |
| Color                                     | u Pt-Co                    | 1                   | 294        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno             | mg/L - O <sub>2</sub>      | 10                  | 213        |
| Demanda Química de Oxígeno <sup>(2)</sup> | mg/L - O <sub>2</sub>      | 10                  | 340        |
| Relación DQO/DBO                          | ---                        | ---                 | 1.6        |
| Fósforo Total                             | mg/L - P                   | 0.060               | 4.05       |
| Grasas y Aceites                          | mg/L                       | 5                   | 9          |
| Materia Flotante                          | ---                        | Presente/Ausente    | Ausente    |
| Nitrógeno Total                           | mg/L - N                   | 0.50                | 14.00      |
| pH  | ---                        | 0.01                | 6.75       |
| Sólidos Sedimentables                     | mL/L                       | 0.1                 | < 0.1      |
| Sólidos Suspendidos                       | mg/L                       | 10                  | 118        |
| Temperatura                               | °C                         | 0.1                 | 27.0       |
| Coliformes fecales                        | NMP/100mL                  | 1.8                 | 2,400,000  |

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; 'NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) El análisis de DQO (Método: Coguano NG 29 014 h8) es acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13

Continuación del anexo 1.

- Informe de resultados de análisis M-3 (Desfogue aldea El Zapote) ubicado en aldea el Zapote.

### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Municipalidad de Oratorio  
 Responsable: Sr. Guillermo Herrera  
 Dirección: Oratorio, Santa Rosa

#### Datos de la muestra

|                     |  |                             |                                  |
|---------------------|--|-----------------------------|----------------------------------|
| Lugar de muestreo:  | Municipalidad de San Martín Zapotitlán | Muestra simple o compuesta: | Simple                           |
| Referencia cliente: | San Martín Zap. M-3                    | Responsable del muestreo:   | CLIENTE                          |
| Fecha de monitoreo: | 20 de abril de 2017                    | Temperatura de almacenaje:  | 5 °C                             |
| Hora de monitoreo:  | 11:00                                  | Recipiente utilizado:       | Plástico, vidrio y bolsa estéril |
| Tipo de muestra:    | Agua residual ordinaria                | Método de preservación:     | INS04-MUE                        |
| Código de muestra:  | 17-1330-3                              |                             |                                  |
| Lote:               | 17-1330                                |                             |                                  |

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 20 de abril de 2017  
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 18:30  
 Fecha de informe: 08 de mayo de 2017

| Análisis                                  | Dimensional <sup>(1)</sup> | Límite de Detección | Resultados |
|---|----------------------------|---------------------|------------|
| Cianuro                                   | mg/L - CN                  | 0.010               | < 0.010    |
| Color                                     | u Pt-Co                    | 1                   | 203        |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno             | mg/L - O <sub>2</sub>      | 10                  | 128        |
| Demanda Química de Oxígeno <sup>(2)</sup> | mg/L - O <sub>2</sub>      | 10                  | 204        |
| Relación DQO/DBO                          | ---                        | ---                 | 1.6        |
| Fósforo Total                             | mg/L - P                   | 0.060               | 2.15       |
| Grasas y Aceites                          | mg/L                       | 5                   | < 5        |
| Materia Flotante                          | ---                        | Presente/Ausente    | Presente   |
| Nitrógeno Total                           | mg/L - N                   | 0.50                | 15.00      |
| pH  | ---                        | 0.01                | 6.68       |
| Sólidos Sedimentables                     | mL/L                       | 0.1                 | 1          |
| Sólidos Suspendidos                       | mg/L                       | 10                  | 72         |
| Temperatura                               | °C                         | 0.1                 | 27.0       |
| Coliformes fecales                        | NMP/100mL                  | 1.8                 | 2,400,000  |

(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = Unidades platino cobalto; NMP/100 mL = número más probable por 100 mililitros.

(2) El análisis de DQO (Método: Coguanor NGO 29 014 h8) es acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2005 según OGA-LE-051-13

Fuente: Constitución Política de la República de Guatemala. *Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico, artículo 90.*

Anexo 2. **Legislación ambiental en Guatemala aplicada al tratamiento de aguas residuales**

- Resumen del artículo 97 de la *Constitución Política de la República de Guatemala*, Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico

El artículo 97 de la Constitución Política de la República de Guatemala dicta la responsabilidad y obliga al Estado de Guatemala, las municipalidades y todos los habitantes a propiciar el desarrollo tanto social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico, también resalta que se realizaran todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente. Es entonces que se emite la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, siendo así el Ministerio de Ambiente y recursos Naturales el ente encargado en velar por el cumplimiento de estas leyes y normas.

- Resumen de la *ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (Decreto 68-86)*

La *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente* emitida por el Congreso de la República de Guatemala considera que la protección y mejoramiento del medio ambiente y los recursos naturales y culturales es fundamental para el logro de un desarrollo social y económico del país, de manera sostenida y que la situación de los recursos naturales y el medio ambiente en general en Guatemala ha alcanzado niveles críticos de deterioro que inciden directamente en la calidad de vida de los habitantes y ecosistemas del país, por lo que tiene como objetivo velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los

Continuación del anexo 2.

habitantes del país. Por lo anterior es que decide tomar acciones inmediatas y así garantizar un ambiente propicio para el futuro del país.

Enfocado en lo que la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente se refiere al tratamiento de aguas residuales se encuentra que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o no, al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional, será necesario previamente a su desarrollo un estudio de evaluación del impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la Comisión del Medio Ambiente (artículo 8). El establecimiento de multas para restablecer el impacto de los daños causados al ambiente, valorados cada cual, en su magnitud y cualesquier otras medidas tendientes a corregir y reparar los daños causados debe evitar la contaminación de actos perjudiciales al medio ambiente y los recursos naturales (artículo 31). En tanto que no se cumpla con la sanción, se deberá clausurar dicho proyecto.

Para lograr los objetivos principales de esta ley se debe realizar la prevención, regulación y control de cualesquiera sean las causas o actividades que origine deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, en el caso de las aguas residuales esta ley se enfoca en salvar y restaurar aquellos cuerpos de agua que estén amenazando o en grave peligro de extinción (artículo 12).

Continuación del anexo 2.

En la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente especifica que El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para (artículo 15):

a) Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas;

b) Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental;

c) Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos;

d) Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua;

e) Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo;

f) Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas;



Continuación del anexo 2.

g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies;

h) Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad del agua;

i) Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres de ríos y manantiales;

j) Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala;

k) Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.

Derivada del enfoque hídrico nace el Acuerdo Gubernativo 236-2006, para dar cumplimiento a los objetivos de esta ley.

- Resumen del *reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* (Acuerdo Gubernativo 236-2006)

Continuación del anexo 2.

El Reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos es un instrumento normativo moderno que permite propiciar el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas y contribuye a la sostenibilidad del recurso hídrico. Teniendo en consideración la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, tiene como objetivo establecer los criterios y requisitos que debe de cumplir las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, con el fin de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas, para después de haber mejorado sus características seguir un proceso continuo que proteja los cuerpos receptores con mecanismos de evaluación, control y seguimiento. Uno de los principales objetivos también es recuperar los cuerpos receptores naturales y promover el desarrollo hídrico.

El reglamento se aplica a todo ente generador de aguas residuales público o privado, clasificándolos como ente generador ya existente y ente generador nuevo, quienes tendrán la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso y lodos. El estudio técnico que se debe realizar tendrá que tomar en cuenta los siguientes requisitos:

I. Información general:

- a. Nombre, razón o denominación social.
- b. Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Continuación del anexo 2.

- c. Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta al presente Reglamento.
- d. Horarios de descarga de aguas residuales.
- e. Descripción del tratamiento de aguas residuales.
- f. Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
- g. Caracterización de las aguas para reuso.
- h. Caracterización de lodos a disponer.
- i. Caracterización del afluente. Aplica en el caso de la deducción especial de parámetros del artículo 23 del presente Reglamento.
- j. Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
- k. Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica.
- l. Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva.

Continuación del anexo 2.

II. Documentos:

m. Plano de localización y ubicación, con coordenadas geográficas, del ente generador o de la persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público.

n. Plano de ubicación y localización, con coordenadas geográficas, del o los dispositivos de descarga, para la toma de muestras, tanto del afluente como del efluente. En el caso del afluente cuando aplique.

o. Plan de gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos. Las municipalidades o empresas encargadas de prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales, a personas que descargan sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, incluirán la siguiente información: el catastro de dichos usuarios y el monitoreo de sus descargas.

p. Plan de tratamiento de aguas residuales, si se descargan a un cuerpo receptor o alcantarillado.

q. Informes de resultados de las caracterizaciones realizadas.

Parametros para aguas residuales

El Reglamento dicta que todo ente generador de aguas residuales deberá realizar la caracterización del afluente, así como del efluente de aguas residuales y de lodos, incluyéndolos en los resultados en el estudio técnico.

Continuación del anexo 2.

Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales y valores de descarga a cuerpos receptores son los siguientes:

- a. Temperatura,
- b. Potencial de hidrógeno,
- c. Grasas y aceites,
- d. Materia flotante,
- e. Sólidos suspendidos totales,
- f. Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- g. Demanda química de oxígeno,
- h. Nitrógeno total,
- i. Fósforo total,
- j. Arsénico,
- k. Cadmio,
- l. Cianuro total,
- m. Cobre,
- n. Cromo hexavalente,
- o. Mercurio,
- p. Níquel,
- q. Plomo,
- r. Zinc,
- s. Color y
- t. Coliformes fecales.

Continuación del anexo 2.

Se deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor, conforme a los valores y etapas de cumplimiento del cuadro siguiente:

Modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno para entes generadores existentes.

|                              |                                     |               |                |                |                 |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|
| Etapa                        | Uno                                 |               |                |                |                 |
| Fecha máxima de Cumplimiento | Dos de mayo de dos mil once         |               |                |                |                 |
| Duración, Años               | 5                                   |               |                |                |                 |
| Carga, kilogramos por día    | 3000≤EG<6000                        | 6000≤EG<12000 | 12000≤EG<25000 | 25000≤EG<50000 | 50000≤EG<250000 |
| Reducción porcentual         | 10                                  | 20            | 30             | 35             | 50              |
| Etapa                        | Dos                                 |               |                |                |                 |
| Duración, años               | 4                                   |               |                |                |                 |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil quince       |               |                |                |                 |
| Carga, kilogramos por día    | 3000≤EG<5500                        | 5500≤EG<10000 | 10000≤EG<30000 | 30000≤EG<50000 | 50000≤EG<125000 |
| Reducción porcentual         | 10                                  | 20            | 40             | 45             | 50              |
| Etapa                        | Tres                                |               |                |                |                 |
| Fecha máxima de Cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinte       |               |                |                |                 |
| Duración, Años               | 5                                   |               |                |                |                 |
| Carga, kilogramos por día    | 3000≤EG<5000                        | 5000≤EG<10000 | 10000≤EG<30000 | 30000≤EG<65000 |                 |
| Reducción porcentual         | 50                                  | 70            | 85             | 90             |                 |
| Etapa                        | Cuatro                              |               |                |                |                 |
| Fecha máxima de cumplimiento | Dos de mayo de dos mil veinticuatro |               |                |                |                 |
| Duración, años               | 4                                   |               |                |                |                 |
| Carga, kilogramos por día    | 3000<EG<4000                        |               | 4000≤EG<7000   |                |                 |
| Reducción Porcentual         | 40                                  |               | 60             |                |                 |

Continuación del anexo 2.

Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores

| Parámetros             | Dimensionales                          | Valores iniciales | Fecha máxima de cumplimiento |                               |                               |                                     |
|------------------------|--|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
|                        |  |                   | Dos de mayo de dos mil once  | Dos de mayo de dos mil quince | Dos de mayo de dos mil veinte | Dos de mayo de dos mil veinticuatro |
|                        |  |                   | Etapa                        |                               |                               |                                     |
|                        |  |                   | Uno                          | Dos                           | Tres                          | Cuatro                              |
| Temperatura            | Grados Celsius                         | TCR +/- 7         | TCR +/- 7                    | TCR +/- 7                     | TCR +/- 7                     | TCR +/- 7                           |
| Grasas y aceites       | Miligramos por litro                   | 1500              | 100                          | 50                            | 25                            | 10                                  |
| Materia flotante       | Ausencia/presencia                     | Presente          | Ausente                      | Ausente                       | Ausente                       | Ausente                             |
| Sólidos suspendidos    | Miligramos por litro                   | 3500              | 600                          | 400                           | 150                           | 100                                 |
| Nitrógeno total        | Miligramos por litro                   | 1400              | 100                          | 50                            | 25                            | 20                                  |
| Fósforo total          | Miligramos por litro                   | 700               | 75                           | 30                            | 15                            | 10                                  |
| Potencial de hidrógeno | Unidades de potencial de Hidrógeno     | 6 a 9             | 6 a 9                        | 6 a 9                         | 6 a 9                         | 6 a 9                               |
| Coliformes fecales     | Número más probable en cien mililitros | $< 1 \times 10^8$ | $< 1 \times 10^6$            | $< 1 \times 10^5$             | $< 1 \times 10^4$             | $< 1 \times 10^4$                   |
| Arsénico               | Miligramos por litro                   | 1                 | 0.5                          | 0.1                           | 0.1                           | 0.1                                 |
| Cadmio                 | Miligramos por litro                   | 1                 | 0.4                          | 0.1                           | 0.1                           | 0.1                                 |
| Cianuro total          | Miligramos por litro                   | 6                 | 3                            | 1                             | 1                             | 1                                   |
| Cobre                  | Miligramos por litro                   | 4                 | 4                            | 3                             | 3                             | 3                                   |
| Cromo hexavalente      | Miligramos por litro                   | 1                 | 0.5                          | 0.1                           | 0.1                           | 0.1                                 |
| Mercurio               | Miligramos por litro                   | 0.1               | 0.1                          | 0.02                          | 0.02                          | 0.01                                |
| Níquel                 | Miligramos por litro                   | 6                 | 4                            | 2                             | 2                             | 2                                   |
| Plomo                  | Miligramos por litro                   | 4                 | 1                            | 0.4                           | 0.4                           | 0.4                                 |
| Zinc                   | Miligramos por litro                   | 10                | 10                           | 10                            | 10                            | 10                                  |
| Color                  | Unidades platino cobalto               | 1500              | 1300                         | 1000                          | 750                           | 500                                 |

Continuación del anexo 2.

### Límites máximos permisibles para entes generadores nuevos

| Parámetros               | Dimensionales                          | Límites máximos permisibles |
|--------------------------|--|-----------------------------|
| Temperatura              | Grados Celsius                         | TCR +/- 7                   |
| Grasas y aceites         | Miligramos por litro                   | 10                          |
| Materia flotante         | Ausencia/presencia                     | Ausente                     |
| Sólidos suspendidos      | Miligramos por litro                   | 100                         |
| Nitrógeno total          | Miligramos por litro                   | 20                          |
| Fósforo total            | Miligramos por litro                   | 10                          |
| Potencial de hidrógeno   | Unidades de potencial de hidrógeno     | 6 a 9                       |
| Coliformes fecales       | Número más probable en cien mililitros | $< 1 \times 10^4$           |
| Arsénico                 | Miligramos por litro                   | 0.1                         |
| <b>Cadmio</b>            | Miligramos por litro                   | 0.1                         |
| <b>Cianuro total</b>     | Miligramos por litro                   | 1                           |
| <b>Cobre</b>             | Miligramos por litro                   | 3                           |
| <b>Cromo hexavalente</b> | Miligramos por litro                   | 0.1                         |
| <b>Mercurio</b>          | Miligramos por litro                   | 0.01                        |
| <b>Níquel</b>            | Miligramos por litro                   | 2                           |
| <b>Plomo</b>             | Miligramos por litro                   | 0.4                         |
| <b>Zinc</b>              | Miligramos por litro                   | 10                          |
| <b>Color</b>             | Unidades platino cobalto               | 500                         |

Los parámetros de medición a determinar son los siguientes:

- a. Temperatura,
- b. Potencial de hidrógeno,
- c. Grasas y aceites,
- d. Materia flotante,
- e. Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius,
- f. Demanda química de oxígeno,
- g. Sólidos suspendidos totales,



Continuación del anexo 2.

- h. Nitrógeno total,
- i. Fósforo total,
- j. Arsénico,
- k. Cadmio,
- l. Cianuro total,
- m. Cobre,
- n. Cromo hexavalente,
- o. Mercurio,
- p. Níquel,
- q. Plomo,
- r. Zinc,
- s. Color y
- t. Coliformes fecales.

Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico. Para el seguimiento y evaluación de lodos, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico. En el caso de las entidades contratadas para prestar los servicios de extracción, manejo y disposición final de lodos, éstas tendrán que realizar su toma de muestras de acuerdo al siguiente cuadro:

Continuación del anexo 2.

### Frecuencia de toma de muestras

| Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos por muestreo |  |  |
|---|--|--|
| Horas por día que opera la actividad que genera la descarga de aguas residuales           | Número mínimo de muestras simples para conformar una muestra compuesta | Intervalo mínimo en horas entre toma de muestras simples |
| Menor que 8   | 2  | 2  |
| De 8 a 12   | 3  | 3  |
| Mayor que 12  | 4  | 3  |

### Prohibiciones y sanciones

El Reglamento prohíbe terminantemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado pluvial, también se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático.

Se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos:

En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre; En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas; En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y seguridad humana; Para el uso con fines recreacionales exceptuando el tipo V, indicado en el artículo 34. Se prohíbe terminantemente efectuar la disposición final de lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Continuación del anexo 2.

Además, se prohíbe la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección respectiva ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales. Las infracciones a este Reglamento darán lugar a la aplicación de cualesquiera de las sanciones establecidas en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, según el grado de incumplimiento de límites máximos permisibles observando.

Todo ente generador de aguas residuales deberá realizar el estudio técnico estipulado en el presente Reglamento, en el plazo de un año, contado a partir de la vigencia del mismo.

- Resumen de la Reforma 58-2019 al *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* (Acuerdo Gubernativo 236-2006).

Las municipalidades y/o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores de la forma siguiente:

- 1) Con los límites máximos permisible y plazo establecido en el siguiente cuadro, incluyendo sólidos sedimentables:

Continuación del anexo 2.

Reforma de los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales

|                               |  | Fecha máxima de cumplimiento                        |  |  |
|-------------------------------|--|---|--|--|
|                               |  | Veintinueve de Noviembre del año Dos Mil Diecinueve | Dos de Mayo del año Dos Mil Veinticuatro | Dos de Mayo del año Dos Mil Veintiocho |
|                               |  | Etapa   |  |  |
| Parámetros                    | Dimensionales                          | Uno   | Dos                                      | Tres                                   |
| Temperatura                   | Grados Celsius                         | TCR +/- 7   | TCR +/- 7                                | TCR +/- 7                              |
| Grasas y aceites              | Miligramos por litro                   | 50  | 10                                       | 10                                     |
| Materia flotante              | Ausencia/presencia                     | Ausente   | Ausente                                  | Ausente                                |
| Demanda bioquímica de oxígeno | Miligramos por litro                   | 250   | 100                                      | 100                                    |
| Sólidos suspendidos           | Miligramos por litro                   | 275   | 200                                      | 100                                    |
| Nitrógeno total               | Miligramos por litro                   | 150   | 70                                       | 20                                     |
| Fósforo total                 | Miligramos por litro                   | 40  | 20                                       | 10                                     |
| Potencial de hidrógeno        | Unidades de potencial de hidrógeno     | 6 a 9   | 6 a 9                                    | 6 a 9                                  |
| Coliformes fecales            | Número más probable en cien mililitros | < 1x10 <sup>7</sup>                                 | < 1x10 <sup>4</sup>                      | < 1x10 <sup>4</sup>                    |
| Arsénico                      | Miligramos por litro                   | 0.1   | 0.1                                      | 0.1                                    |
| Cadmio                        | Miligramos por litro                   | 0.1   | 0.1                                      | 0.1                                    |
| Cianuro total                 | Miligramos por litro                   | 1   | 1  | 1                                      |
| Cobre                         | Miligramos por litro                   | 3   | 3  | 3                                      |
| Cromo hexavalente             | Miligramos por litro                   | 0.1   | 0.1                                      | 0.1                                    |
| Mercurio                      | Miligramos por litro                   | 0.02  | 0.02                                     | 0.01                                   |
| Níquel                        | Miligramos por litro                   | 2   | 2  | 2                                      |
| Plomo                         | Miligramos por litro                   | 0.4   | 0.4                                      | 0.4                                    |
| Zinc                          | Miligramos por litro                   | 10  | 10                                       | 10                                     |
| Color                         | Unidades platino cobalto               | 1000  | 750                                      | 500                                    |

Continuación del anexo 2.

Para cumplir con el desarrollo de la totalidad de obras relacionadas con redes de drenaje y sistemas de tratamiento de aguas residuales, dentro del plazo aplicable a las municipalidades éstas observarán lo siguiente:

a) El treinta de mayo del año dos mil diecinueve (2019), las municipalidades deberán contar con el Estudio Técnico que estipula el Artículo 5, de este Reglamento, determinando el número de descargas de aguas residuales y evaluando los parámetros establecidos en cada una de ellas además deberán incluir el inventario de todas las redes de alcantarillado público, de todas las descargas sin tratamiento y en caso corresponda, de las condiciones en que se encuentren los sistemas de tratamiento de aguas residuales en operación, estos inventarios deberán formar parte de los anexos del referido Estudio Técnico.

b) El veintinueve de noviembre del año dos mil diecinueve (2019), todas las municipalidades deberán de cumplir, con tener en operación sistemas de tratamiento completos, por lo menos, para las dos descargas principales que en el inventario se reporten sin tratamiento y que concentren la mayor carga de demanda bioquímica de oxígeno. Los efluentes ya tratados deben de cumplir con los límites máximos permisibles de la etapa uno del presente artículo.

c) Para completar el tratamiento de las descargas restantes, las municipalidades deberán de cumplir con ejecutar y tener en operación, sistemas de tratamiento para las descargas consignadas en el inventario que se adjuntará al Estudio Técnico y cuyos efluentes deben cumplir con los límites máximos permisibles de la etapa que corresponda. El desarrollo de las obras se hará según los siguientes porcentajes:

Continuación del anexo 2.

c.1) El dos de mayo del año dos mil veintitrés, todas las municipalidades deberán de cumplir con tener en operación sistemas de tratamiento para el 60% del total de las descargas consignadas en el inventario, que debe adjuntarse al Estudio Técnico.

El tres de mayo del año dos mil veintisiete, todas las municipalidades deberán de cumplir con tener en operación sistemas de tratamiento para el restante 40 % del total de las descargas consignadas en el inventario que debe adjuntarse al Estudio Técnico. El acumulado de obras municipales ejecutadas en esta etapa, debe corresponder al 100% del total de las descargas del inventario.

Para la presentación de los instrumentos ambientales y con base en lo establecido en los párrafos anteriores, las municipalidades deberán de cumplir con lo siguiente:

El dos de julio del año dos mil diecinueve, presentar ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales los instrumentos ambientales de los proyectos identificados en la literal b), del numeral 1) de este Artículo.

El treinta y uno de octubre del año dos mil veintidós, presentar ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales los instrumentos ambientales de los proyectos identificados en la literal c.1) de este Artículo.

El treinta de octubre del año dos mil veintiséis, presentar ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales los instrumentos ambientales de los proyectos identificados en la literal c.2) de este Artículo.

Fuente: Constitución Política de la República de Guatemala. *Medio Ambiente y Equilibrio Ecológico, artículo 97.*