

Universidad de San Carlos de Guatemala

Centro Universitario de Suroccidente

Ingeniería en Gestión Ambiental Local



Trabajo de graduación

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN
CANTÓN CERRITO, SAN LORENZO, SUCHITEPÉQUEZ.**

Por:

Elena Daniela Orizábal García

Carné: 201240661

CUI: 2267 78940 1001

elena.25orizabal@gmail.com

Mazatenango, Suchitepéquez, octubre de 2025

Universidad de San Carlos de Guatemala

Centro Universitario de Suroccidente

Ingeniería en Gestión Ambiental Local



Trabajo de graduación

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN CANTÓN
CERRITO, SAN LORENZO, SUCHITEPÉQUEZ.**

Por:

Elena Daniela Orizábal García

Carné: 201240661

ASESOR:

Inga. Agro. Iris Yvonnee Cárdenas Sagastume

REVISOR:

Ing. Allan Fernando Castro Czech

Presentado ante las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente
CUNSUROC – de la Universidad San Carlos de Guatemala, previo a conferírsele el título
que le acredita como Ingeniero en Gestión Ambiental Local en el grado académico de
Licenciado.

Mazatenango, Suchitepéquez, octubre de 2025

Universidad de San Carlos de Guatemala

Centro Universitario de Suroccidente

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

Miembros del Consejo Directivo del Centro Universitario de Suroccidente

M.Sc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Director

Representante de los Profesores

M.Sc. Edgar Roberto Del Cid Chacón

Vocal

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Vocal

Representante Graduado del CUNSUROC

Lic. Vilser Josvin Ramírez Robles

Vocal

Representantes Estudiantiles

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM Y TAE. Rony Roderíco Alonso Solis

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

Coordinador Académico

M.Sc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

Dr. Álvaro Estuardo Gutiérrez Gamboa

Coordinador Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Licda. Rita Elena Rodríguez Rodríguez

Coordinador de las Carreras de Pedagogía

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj

Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

M.Sc. Víctor Manuel Nájera Toledo

Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

M.Sc. Martín Salvador Sánchez Cruz

Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

M.Sc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes

Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales

Abogacía y Notariado

M.Sc. Tania María Cabrera Ovalle

Área

Lic. José Felipe Martínez Domínguez

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

Coordinador de las carreras de Pedagogía

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos

Coordinador Carrera Periodista Profesional y Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

Lic. Juan Pablo Ángeles Lam

Dedicatoria

A Dios:

Quien me ha guiado y sostenido en cada etapa de mi vida. Agradezco la sabiduría y fortaleza que me ha dado para superar los desafíos y permitirme alcanzar este logro académico.

A mis padres:

Justo Ernesto Orizábal Ramírez e Imelda García Zaldaña por todos los sacrificios realizados para brindarme mejores oportunidades y por siempre apoyarme. Les dedico este trabajo con amor y gratitud.

A mi hijo:

Justo Daniel Arias Orizábal por llegar a mi vida y ser la luz que ilumina mi camino, quien ha sido mi mayor fuente de motivación y fortaleza. Con profundo amor y alegría le dedico este logro.

A mis hermanos:

José Ernesto Orizábal García y Evelyn Fabiola Orizábal García por su apoyo incondicional y por estar presentes en cada etapa de mi vida. Gracias por compartir conmigo este logro.

A mi familia:

Tíos, sobrinos y primos, por ser parte de mi historia, por su compañía, sus consejos y sonrisas. De manera especial, a mi abuelito Daniel García (†) y a mi tía Evelia Farfán Zaldaña (†) quienes partieron antes de presenciar este momento, pero que habitan en mi corazón y mi alma cada día.

Agradecimientos

- A:** Universidad de San Carlos de Guatemala, mi alma máter por brindarme la oportunidad de recibir educación superior y por ser el espacio que fortaleció mi formación académica, personal y profesional.
- A:** Municipalidad de San Lorenzo, Suchitepéquez, por permitirme ejecutar el Ejercicio Profesional Supervisada EPS y por el apoyo brindado durante el proceso.
- A:** A Armida Linarez Álvarez, Ada Gutiérrez y a la Junta directiva de COCODE de aldea La Soledad por el apoyo brindado durante el desarrollo del EPS.
- A:** MSc. Karen Rebeca Pérez, por su acompañamiento constante, tiempo y compromiso que brindó durante la revisión del presente documento y el desarrollo del EPS.
- A:** Inga. Agro. Iris Yvonne Cárdena, por su acompañamiento, asesoría constante, disposición y compromiso durante todo el proceso. Su guía enriqueció mi formación académica.
- A:** El personal docente de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local por los conocimientos y enseñanzas proporcionadas, especialmente a MSc. Eysen Enríquez, Inga. Agro. Lucrecia Vela, MSc. Sharon Quiñónez, MSc Celso González.

Índice general

Contenido	Página
Resumen.....	ix
Abstract.....	xi
I. Introducción.....	1
II. Revisión de literatura.....	2
2.1. Marco referencial.....	2
2.1.1. Descripción general del municipio de San Lorenzo	2
2.1.2. Descripción general de cantón Cerrito	3
2.1.3. Manejo de aguas residuales en cantón Cerrito	4
2.2. Marco conceptual	6
2.2.1. Aguas residuales	6
2.2.2. Componentes de las aguas residuales.....	6
2.2.3. Descripción de las características de las aguas residuales	7
2.2.3.1. Características físicas.....	7
2.2.3.2. Características químicas.....	7
2.2.3.3. Características microbiológicas.....	9
2.2.4. Tipos de aguas residuales según su procedencia que concierne a la investigación	9
2.2.4.1. Agua residual doméstica.....	9
2.2.5. Consecuencias del vertido de aguas residuales no tratadas o con tratamiento inadecuado.....	10
2.2.5.1. Efectos a la salud humana por las aguas residuales	11
2.2.5.2. Efectos al medio ambiente por las aguas residuales	11
2.2.5.3. Efectos económicos por las aguas residuales	12
2.2.6. Marco legal guatemalteco de las aguas residuales.....	12

2.2.6.1. Parámetros de medición de las aguas residuales establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	13
2.2.6.1.1. Enmiendas del Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	14
2.2.7. Puntos de descarga de aguas residuales.....	18
2.2.8. Carga contaminante.....	18
2.2.9. Tipos de muestras	19
2.2.9.1. Muestra simple.....	19
2.2.9.2. Muestra compuesta.	19
2.2.10. Método volumétrico para el cálculo de caudales.....	19
2.2.11. Dotación.....	20
2.2.12. Plantas de tratamiento de aguas residuales	20
2.2.12.1. Etapas de tratamiento de aguas residuales.....	21
2.2.13. Cumplimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la enmienda vigente.....	22
III. Objetivos.....	23
3.1. Objetivo general.....	23
3.2. Objetivos específicos.....	23
IV. Materiales y métodos	24
4.1. Materiales y equipo	24
4.2. Metodología	25
4.2.1. Identificar los puntos de descarga de las aguas residuales de cantón Cerrito.	25
4.2.1.1. Elaboración de un mapa de los puntos de descargas de aguas residuales.	25
4.2.1.2. Elaboración del inventario de los puntos de descarga de aguas residuales.	26

4.2.2. Evaluar la eficiencia del tratamiento en función de la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las plantas de tratamiento de aguas residuales de cantón Cerrito.....	26
4.2.2.1. Información sobre el agua residual generada por los habitantes.	26
4.2.2.2. Cálculo de caudal de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento.....	26
4.2.2.3. Toma de muestras.....	28
4.2.2.3.1. Transporte de las muestras (cadena de custodia).	29
4.2.2.4. Cálculo de la carga contaminante de las aguas residuales de las plantas de tratamiento.....	29
4.2.3. Desarrollar una propuesta para el manejo de las aguas residuales generadas en cantón Cerrito.	29
4.2.3.1. Cálculo de caudal de las aguas residuales no tratadas.....	30
4.2.3.2. Proyección de población.....	30
4.2.3.3. Proyección de caudal.....	31
4.2.3.4. Manual de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	31
V. Resultados y discusión.....	32
5.1. Identificar los puntos de descargas de las aguas residuales de cantón Cerrito...32	
5.1.1. Elaboración de un mapa de los puntos de descargas de aguas residuales.....	32
5.1.2. Elaboración del inventario de los puntos de descarga de aguas residuales.....	33
5.2. Evaluar la eficiencia del tratamiento en función de la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las plantas de tratamiento de aguas residuales de cantón Cerrito.....	33

5.2.1.	Información sobre el agua residual.....	33
5.2.2.	Cálculo de caudal de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento	36
5.2.3.	Toma de muestras	37
5.2.4.	Cálculo de la carga contaminante de las aguas residuales de las plantas de tratamiento	38
5.3.	Desarrollar una propuesta de manejo de las aguas residuales generadas en cantón Cerrito.....	38
5.3.1.	Medición de caudales de agua residual no tratada	38
5.3.2.	Verificación de proyección de población	38
5.3.3.	Proyección de caudal.....	39
5.3.4.	Medición de DBO en época seca y época lluviosa	39
5.3.5.	Manual de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	40
VI.	Conclusiones	41
VII.	Recomendaciones.....	42
VIII.	Referencias	43
IX.	Anexos.....	47

Índice de figuras

Figura	Página
1. Mapa de localización de cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez	3
2. Mapa de sectorización del manejo de aguas residuales.	4
3. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales.	5
4. Mapa de identificación de los puntos de descarga de aguas residuales, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.	32
5. Mapa de la distribución del sistema de alcantarillado público de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento ubicadas en cantón Cerrito.	35
6. Gráfica de caudal del mes de junio, PTAR "A"	53
7. Gráfica de caudal del mes de junio, PTAR "B".....	53
8. Gráfica de caudal del mes de julio, PTAR "A".....	54
9. Gráfica de caudal del mes de julio, PTAR "B".....	54
10. Manual de Operaciones del Sistema FAFA de aguas residuales.....	58

Índice de tablas

Tabla	Página
1. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores de aguas residuales municipales, según Artículo 24 bis, del Acuerdo Gubernativo 285-2022, reforma del Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.....	17
2. Rangos de dotación de agua para consumo humano.	20
3. Materiales y equipo utilizados en el desarrollo de la investigación.	24
4. Tasas de crecimiento poblacional establecidas por el Instituto Nacional de Estadística.	30
5. Inventario de puntos de descarga de aguas residuales, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	33
6. Información del ente generador de agua residual descargadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.	34
7. Tabla comparativa de caudales que ingresa a las plantas de tratamiento de aguas residuales, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	36
8. Representatividad basada en la capacidad nominal de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.	36
9. Resultado del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua residual descargada en el riachuelo, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	37
10. Total de agua residual descargada en el riachuelo ubicado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.	39
11. Mediciones de caudal del mes de junio, PTAR “A”.....	49
12. . Mediciones de caudal del mes de junio, PTAR “B”.....	49
13. . Mediciones de caudal del mes de junio, agua residual no tratada.....	50
14. Mediciones de caudal del mes de julio, PTAR “A”.....	51
15. Mediciones de caudal del mes de julio, PTAR “B”.....	51
16. Mediciones de caudal del mes de julio, agua residual no tratada.....	52
17. Composición del agua residual doméstica.....	59

18. Características de salida del agua residual del sistema.....	60
19. Especificaciones técnicas del sistema.....	61
20. Tasa de crecimiento poblacional 2022-2042.....	62

Siglas y acrónimos

INE	Instituto Nacional de Estadística
SEGEPLAN	Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia
FAFA	Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
OMAS	Oficina Municipal de Agua y Saneamiento
UGAM	Unidad de Gestión Ambiental Municipal
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
pH	Potencial de hidrógeno
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
QGIS	Quantum GIS
GPS	Sistema de Posicionamiento Global, en inglés (Global Positioning System)
Handy GPS	Aplicación de GPS en teléfonos móviles
OMS	Organización Mundial de la Salud
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Tecnología
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático
CIDTA	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua.

Resumen

Para contribuir a la sostenibilidad del recurso hídrico, las aguas residuales deben ser tratadas antes de ser vertidas a un cuerpo receptor, como lo establece el Reglamento para las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006. Asimismo, las descargas deberán estar en cumplimiento con los parámetros establecidos por el Acuerdo Gubernativo 285-2022, que es la enmienda vigente del reglamento.

Las plantas de tratamiento son sistemas utilizados para el manejo de las aguas residuales, su propósito es eliminar los contaminantes para ser integradas a un cuerpo de agua sin alterar los ecosistemas.

En cantón Cerrito del municipio de San Lorenzo, Suchitepéquez, se localizan dos plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario, que operan con un proceso biológico anaerobio. Tratan parte del agua residual generada por tres sectores habitacionales; el casco urbano, cantón Las Flores 2 y cantón Cerrito.

La red de alcantarillado público se divide en tres ramales, dos de ellos ingresan a las plantas de tratamiento a través de la cortina de la caja liberadora y el tercero es vertido directamente a un riachuelo nombrado por los habitantes como El Zanjón.

De acuerdo con la información brindada por el técnico de la Oficina Municipal de Agua y Saneamiento (OMAS) desde que instalaron las plantas de tratamiento de aguas residuales no ha sido realizadas evaluaciones, ni análisis previos por ello se desconocía la eficiencia del funcionamiento. Para el desarrollo de la investigación se establecieron objetivos que abordaron la identificación de los puntos de descarga, evaluar la eficiencia del tratamiento en función de la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y desarrollar una propuesta de mejora del manejo de las aguas residuales descargadas en cantón Cerrito.

La evaluación de la eficiencia del tratamiento se fundamentó en el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) siendo fundamental para el análisis de las aguas residuales domésticas por contener mayor grado de materia orgánica, dado que evalúa el grado de contaminación.

Para la evaluación de DBO, se tomaron tres muestras, una del afluente no tratada y dos del efluente proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Se evidencia como resultado una disminución de DBO de 29 mg O₂/l, del efluente e indica una reducción en la concentración, por tanto, en función al parámetro de DBO, el sistema de tratamiento disminuye la concentración a un valor menor al límite de detección, obteniéndose como resultado del agua residual un valor de 39 mg O₂/l, que indica una concentración menor de DBO.

Asimismo, se desarrolló una propuesta basada en la instalación de tres plantas de tratamiento adicionales: dos de ellas destinadas para el caudal actual de aguas residuales no tratadas, estimado en 207.91 m³/día, y una tercera proyectada para atender el incremento estimado de 38.76 m³/día en un horizonte de 20 años. La propuesta también enfatiza la importancia de registrar de forma sistemática tanto el afluente como el efluente. Estas acciones, en conjunto, contribuirán a un manejo más eficiente y sostenible de las aguas residuales, conforme a los estándares ambientales establecidos.

Abstract

To contribute to the sustainability of the water resource, wastewater must be treated before being discharged into a receiving body, as established in the Regulation for the Discharge and Reuse of Wastewater and Sludge Disposal, Governmental Agreement 236-2006. Likewise, discharges must be in compliance with the parameters established by Governmental Agreement 285-2022, which is the current amendment to the regulation.

Treatment plants are systems used to manage wastewater; their purpose is to eliminate pollutants to be integrated into a body of water without altering ecosystems.

In the Cerrito canton of the municipality of San Lorenzo, Suchitepéquez, there are two ordinary wastewater treatment plants that operate with an anaerobic biological process. They treat part of the wastewater generated by three residential sectors: the urban area, canton Las Flores 2 and canton Cerrito.

The public sewer system is divided into three branches, two of which enter the treatment plants through the curtain of the release box and the third is discharged directly into a stream called El Zanjón by the inhabitants. According to the information provided by the technician from the Municipal Water and Sanitation Office (OMAS), since the wastewater treatment plants were installed, no evaluations or previous analyses have been carried out, so the efficiency of their operation was unknown.

For the development of the research, objectives were established to identify the discharge points, evaluate the efficiency of the treatment based on the reduction of the Biochemical Oxygen Demand (BOD) and develop a proposal to improve the management of wastewater discharged in Cerrito.

The evaluation of treatment efficiency was based on the Biochemical Oxygen Demand (BOD) parameter, which is fundamental for the analysis of domestic wastewater because

it contains a higher degree of organic matter, since it evaluates the degree of contamination.

For the BOD evaluation, three samples were taken, one from the untreated effluent and two from the effluent coming from the wastewater treatment plants. As a result, there was a decrease in BOD of 29 mg O₂/l from the effluent, indicating a reduction in the concentration; therefore, based on the BOD parameter, the treatment system reduces the concentration to a value lower than the detection limit, resulting in a wastewater value of 39 mg O₂/l, which indicates a lower BOD concentration.

A proposal was also developed based on the installation of three additional treatment plants, two of them for the untreated wastewater with a flow of 207.91 m³/day, and a third plant for the 20-year projection, for a flow increase of 38.76 m³/day. In addition, the relevance of registering the influent and effluent is reinforced. Together, they will allow for efficient wastewater management, in accordance with environmental standards.

I. Introducción

Las descargas de aguas residuales contaminan a los cuerpos receptores disminuyendo la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Las aguas residuales de tipo ordinario, contienen alto porcentaje de materia orgánica y microorganismos patógenos que afectan la salud pública y del medio ambiente, es por ende necesario sean tratadas antes de ser vertidas a un cuerpo de agua.

Para contribuir a la sostenibilidad del recurso hídrico, en 2006 se emitió el Reglamento para las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, donde se establecen los criterios y requisitos que deben cumplirse siendo el Acuerdo Gubernativo 285-2022, la enmienda vigente.

A partir de ello, los entes generadores deben darle tratamiento a las aguas residuales antes de ser vertidas a un cuerpo receptor. Partiendo del contexto sobre la gestión del agua residual del país, surge la necesidad de desarrollar la presente investigación inferencial, que consiste en evaluar el manejo de las aguas residuales tratadas en cantón Cerrito del municipio de San Lorenzo, Suchitepéquez, teniendo como objetivos identificar los puntos de descarga, evaluar la eficiencia del tratamiento en función a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y desarrollar una propuesta de manejo de las aguas descargadas.

La metodología utilizada fue la siguiente: la recolección de información sobre el agua residual generada por los habitantes, recorridos y visitas de campo, medición y cálculo de caudal, toma de muestras para el análisis de DBO, elaboración de mapas, inventario de los puntos de descarga de aguas residuales, proyecciones de población y caudal futuro.

II. Revisión de literatura

2.1. Marco referencial

A continuación, se brinda la base teórica e información que sustenta la investigación.

2.1.1. Descripción general del municipio de San Lorenzo

San Lorenzo es uno de los veintiún municipios del departamento de Suchitepéquez, como lo indica SEGEPLAN (2019a):

Se localiza al sur de Mazatenango siendo la cabecera departamental; colinda al norte con el municipio de San Gabriel, al este con el municipio de Santo Domingo Suchitepéquez, al sur con los municipios de Santo Domingo y Mazatenango y al oeste con el municipio de Mazatenango; su extensión territorial es de 60 kilómetros cuadrados. La latitud es de 14°29'05", con una longitud de -91°30'44", su altura es de 220 metros sobre el nivel del mar, el clima es cálido registrando un promedio de temperatura de 33.8° C. (p. 12)

SEGEPLAN (2019b), la distribución poblacional está constituida por cinco aldeas, nueve cantones, dos parcelamientos y 21 fincas, en el siguiente orden:

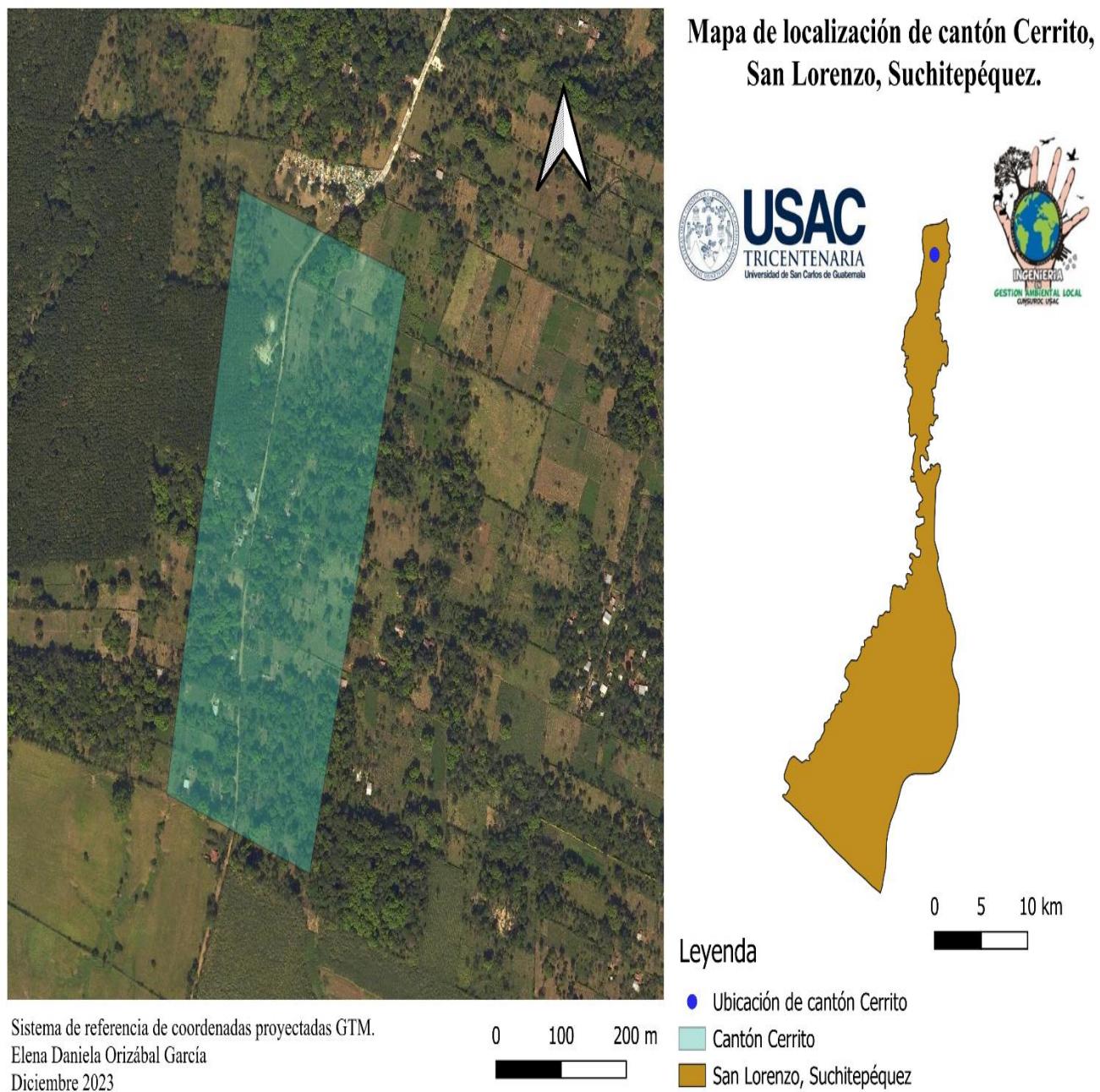
Las cinco aldeas, conformadas por La Soledad, Valle de Candelaria, El Espino, Las Chapinas y La Providencia; nueve cantones conformados por Pacúm, Cerrito, La Esperanza, Mapaguite, El Naranjales, Las Flores, San José, Cerrito de Oro y Granjas San Lorenzo); dos parcelamientos Chapinas y Canales. (p.12)

De acuerdo a las estimaciones y proyecciones municipales del Instituto Nacional de Estadística (2019), “la población de San Lorenzo para el presente año es de 14,048 personas”. (p. 1)

2.1.2. Descripción general de cantón Cerrito

Se localiza a 1,100 metros del casco urbano en dirección norte y cuenta con una corriente de agua intermitente conocida por los pobladores como El Zanjón. Además, dentro de su territorio se encuentran dos plantas de tratamiento de aguas residuales. Como referencia a la localización del cantón dentro del municipio se presenta el siguiente mapa.

Figura 1. Mapa de localización de cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

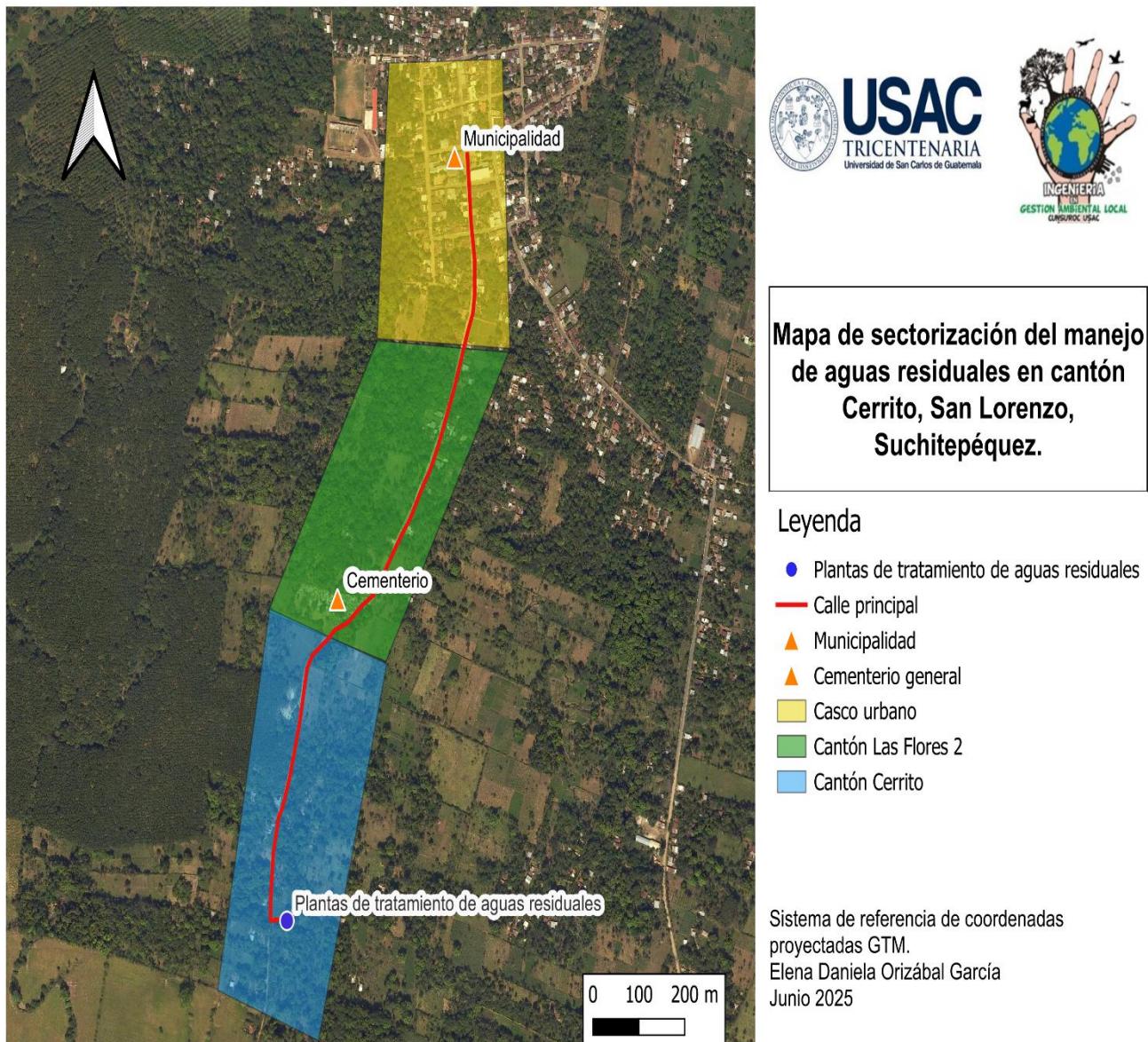


Nota: Mapa elaborado con ortofoto MAGA 2006.

2.1.3. Manejo de aguas residuales en cantón Cerrito

El manejo de aguas residuales es a través de dos plantas de tratamiento que funcionan con un sistema de Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). Los sistemas tratan el agua residual generadas por los habitantes de tres sectores: casco urbano, cantón Las Flores 2 y cantón Cerrito. En cuanto a la red de alcantarillado público, se encuentra distribuida en tres ramales; dos de ellos conducen las aguas residuales hacia las plantas de tratamiento, mientras que el tercero vierte sin tratamiento al riachuelo conocido como El Zanjón, que desemboca en el río Xelecá. Cada planta cuenta con un tratamiento primario, un proceso biológico y un tratamiento terciario.

Figura 2. Mapa de sectorización del manejo de aguas residuales.



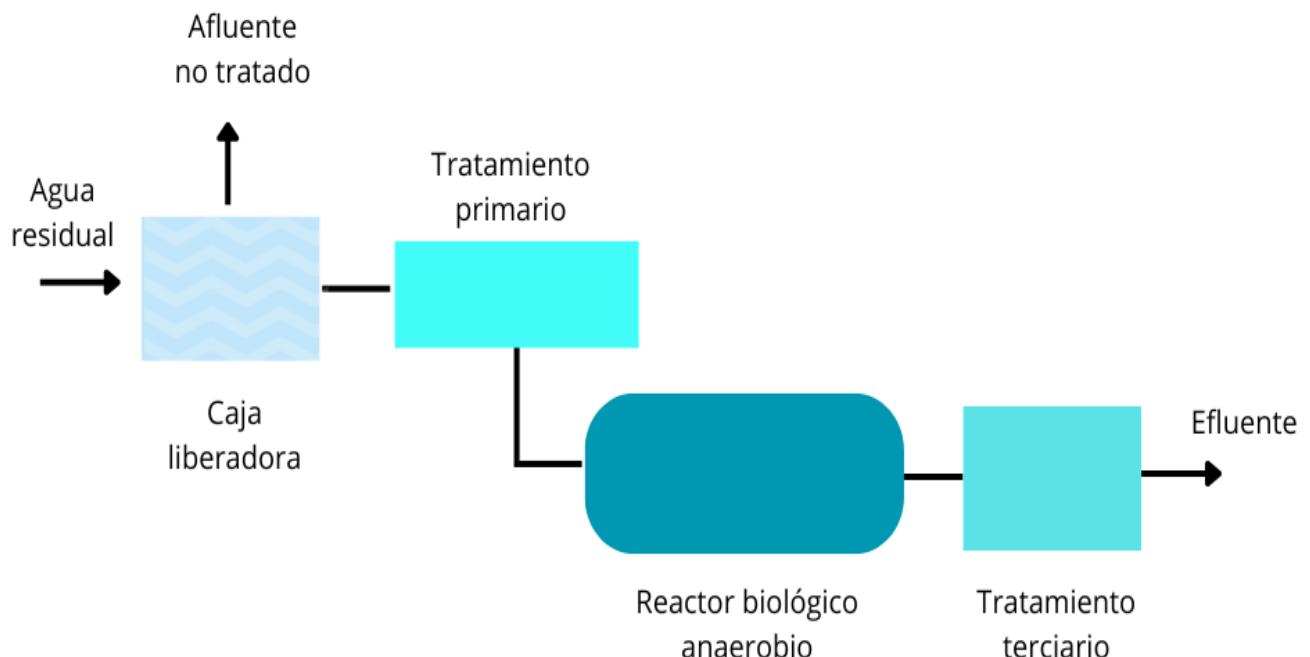
Nota. Mapa elaborado con ortofoto No. 18592_05_ORT_RGB en el software QGIS, 2025.

El sistema FAFA, está diseñado para tratar aguas residuales de origen doméstico. El filtro o también llamado reactor anaerobio opera en ausencia de oxígeno, reduciendo la carga contaminante a través de un material sintético donde los microrganismos quedan adheridos iniciando el proceso de degradación. El reactor está elaborado con poliéster reforzado con fibra de vidrio.

El sistema inicia con un tratamiento primario que consta de una longitud de tres metros, integrado por rejillas que evita el ingreso de sólidos de gran tamaño que puedan encontrarse en el sistema de drenaje, continua con el desarenador cuya función es remover partículas en suspensión gruesas, finalizando con trampa de grasas que tiene el objetivo de separar las grasas del afluente antes de que ingresen al reactor anaerobio.

Posteriormente, emplea microorganismos anaerobios para la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales, utilizando bioelementos plásticos sumergidos que favorecen la adhesión y crecimiento bacteriano encargados del proceso biológico. Como tratamiento terciario utiliza un método de desinfección a través de pastillas de hipoclorito de calcio que son colocadas en la cámara de cloración al cual el efluente es conducido antes de ser vertido al riachuelo El Zanjón. Para mayor comprensión se presenta el siguiente diagrama.

Figura 3. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales.



Nota. Diagrama basado en la información del Manual de Operaciones del Sistema FAFA, 2019.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Aguas residuales

Como lo indica el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (2006) son “aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas” (p. 2).

De acuerdo con el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental de Perú (2014) “son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado” (p. 2).

Fundación Ecomar (2020) cita:

Las aguas residuales son aguas con impurezas procedentes de vertidos de diferentes orígenes, domésticos e industriales, principalmente. De esta forma, tenemos que las aguas residuales pueden contener elementos contaminantes originados en desechos urbanos o industriales. Las aguas residuales urbanas generalmente se conducen por sistemas de alcantarillado y tratadas en plantas de tratamiento de aguas residuales para su depuración antes de su vertido. (párr. 1)

2.2.2. Componentes de las aguas residuales

Espigares y Pérez (2015) indican:

Los componentes de las aguas residuales pueden ser físicos, químicos y biológicos:

- Físicos.** Los componentes y parámetros físicos de las aguas residuales son la temperatura, la turbidez, los sólidos y olor.
- Químicos.** Los componentes químicos comunes en las aguas residuales son:
 - Orgánicos.** Carbohidratos, aceites, pesticidas, fenoles, proteínas, compuestos orgánicos volátiles, etc.

- **Inorgánicos.** Nitrógeno, pH, cloruros, alcalinidad, fósforo, azufre, compuestos tóxicos y metales pesados.
- c. **Biológicos.** Los componentes biológicos dependiendo de su composición y concentración puede contener gran cantidad de organismos, bacterias, virus, algas, protozoos y hongos. (p. 9, 18)

2.2.3. Descripción de las características de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y microbiológica, estas propiedades se relacionan entre sí, asimismo variará de acuerdo con el origen del agua residual, estas características se utilizan como parámetros de medición para su evaluación, lo que contribuye al manejo de las mismas. Además, Carrillo et al. (2021) indica, la composición de las aguas residuales domésticas es muy variada y manifiesta características fisicoquímicas y biológicas muy alteradas, las cuales en tal estado no son aptas para el consumo humano. (p.2)

2.2.3.1. Características físicas. Algunas de ellas pueden percibirse con los sentidos, como el olor y turbiedad. El Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de España (s.f) menciona, “una de las principales características del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta” (p. 7). Además, de la temperatura, densidad y sólidos totales.

2.2.3.2. Características químicas. La composición química natural de las aguas puede verse alterada por actividades humanas: agrícolas, ganaderas e industriales. La consecuencia es la incorporación de sustancias de diferente naturaleza a través de vertidos de aguas residuales o debido al paso de las aguas por terrenos tratados con productos agroquímicos o contaminados.

Las características químicas del agua residual permiten determinar su nivel de contaminación y su estado general. Entre los parámetros más comunes se encuentran el pH, la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO),

los compuestos nitrogenados, el fósforo y sus derivados, los metales pesados, así como los aceites y grasas. En la presente investigación, se priorizó la evaluación de DBO, por ser uno de los indicadores más relevantes para determinar la contaminación orgánica en el agua, lo cual resulta fundamental para evaluar la eficiencia del tratamiento de las plantas instaladas en cantón Cerrito.

- **Demand Bioquímica de Oxígeno (DBO).** Es uno de los parámetros más importantes en la caracterización del agua, refleja la cantidad de oxígeno que los microorganismos requieren para descomponer la materia orgánica en condiciones aeróbicas, su valor se utiliza como índice en la contaminación, cuanto mayor sea su concentración más contaminada estará el agua.

El Reglamento (2006, p. 3), indica: la 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.

La Universidad Politécnica de Cartagena (s.f. p. 9,10), *cita*:

Mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos (bacterias, hongos y plancton), consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenida en la muestra.

Esta transformación biológica precisa un tiempo superior a los 20 días, por lo que se ha aceptado, como norma, realizar una incubación durante cinco días, a 20°C, en la oscuridad y fuera del contacto del aire, a un pH de 7-7.5 y en presencia de nutrientes y oligoelementos que permitan el crecimiento de los microorganismos, denominándose DBO₅.

Como se mencionó en líneas anteriores, el parámetro de DBO es fundamental para el análisis y evaluación de las aguas residuales de origen doméstico dado que evalúa el grado de contaminación, por ello en la investigación solamente se evaluó dicho parámetro.

2.2.3.3. Características microbiológicas.

CIDBIMENA (s.f) menciona “en el agua residual se encuentra microorganismo cuya función es la descomposición, transformación y fermentación de la materia orgánica. Pueden ser de origen vegetal, animal y protista”. (p.12). Siendo los microorganismos protistas (bacterias, hongos, protozoos, virus y parásitos) los que presentan mayor concentración en las aguas residuales doméstica, por la carga de excretas humanas, evaluando el parámetro de coliformes fecales. Estos agentes patógenos son perjudiciales para la salud humana.

2.2.4. Tipos de aguas residuales según su procedencia que concierne a la investigación

De acuerdo con Andrade y Carrasco (2021, p. 11), las aguas residuales se clasifican según su procedencia:

2.2.4.1. Agua residual doméstica. Son las aguas originadas en las viviendas o instalaciones comerciales privadas y/o públicas. Están compuestas por aguas fecales y aguas de lavado y limpieza. Los principales contaminantes son gérmenes patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fósforo además de otros en menor proporción.

- **Aguas negras**, estas contienen orina y heces fecales proveniente de inodoros y urinales.
- **Aguas grises**, generadas a partir de detergentes y grasas procedente de lavadoras y lavaderos.
- **Agua residual de lluvia** proviene de las precipitaciones, se moviliza limpiando y transportando en suspensión y disolución los contaminantes acumulados en el suelo.

Las aguas residuales domésticas presentan distintas composiciones a diferencia de otras fuentes, UNESCO (2017a) indica:

Es probable que las aguas residuales domésticas contengan altas cargas bacterianas, si bien la mayoría de las bacterias presentes en las heces humanas

no son inherentemente patógenas. No obstante, cuando se produce una infección, un gran número de microorganismos patógenos (como bacterias, virus, protozoos y helmintos) se propagan en el medio ambiente a través de las heces. La eliminación de patógenos es a menudo el objetivo principal de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir la carga de la enfermedad. (p. 39)

2.2.5. Consecuencias del vertido de aguas residuales no tratadas o con tratamiento inadecuado

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA (2015), citado por UNESCO (2017b), indica:

El vertido de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas en el medio ambiente provoca la contaminación de las aguas superficiales, el suelo y las aguas subterráneas. Una vez vertidas en las masas de agua, las aguas residuales se diluyen y son transportadas aguas abajo, o se infiltran en los acuíferos, donde pueden afectar la calidad (y, por lo tanto, la disponibilidad) de los suministros de agua dulce. El destino final de las aguas residuales vertidas en ríos y lagos es, a menudo, el océano. El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias que se clasifican en tres grupos, según tengan: efectos adversos para la salud humana por la reducción de la calidad del agua; efectos ambientales negativos debido a la degradación de las masas de agua y de los ecosistemas; y posibles efectos en las actividades económicas. (p. 41)

Como se ha mencionado, el vertido de aguas residuales no tratadas o con tratamiento inadecuado genera una serie de consecuencias que afectan distintos ámbitos, entre ellos, la salud humana, el medio ambiente y la economía. En este contexto, resulta prioritario profundizar los principales efectos en cada uno de estos ámbitos. A continuación, se presentan los principales impactos asociados a esta problemática, respaldados por organismos internacionales.

2.2.5.1. Efectos a la salud humana por las aguas residuales no tratadas. La Organización Mundial de la Salud OMS (2014), citado por UNESCO (2017c), indica:

Las enfermedades asociadas al saneamiento y aguas residuales siguen siendo comunes en los países donde la cobertura de estos servicios es baja, donde el uso informal de aguas residuales no tratadas para la producción de alimentos es alto y donde la dependencia del agua superficial contaminada para consumo y uso recreativo es habitual. Se estima que, en 2012, fueron 842,000 muertes en países de ingresos medios y bajos causadas por agua potable contaminada, instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento inadecuados. (p. 42)

2.2.5.2. Efectos al medio ambiente por las aguas residuales no tratadas. PNUMA (2016) citado por UNESCO (2017d, p. 42), hace mención:

El vertido de aguas residuales no tratadas en el medio ambiente tiene un impacto en la calidad del agua que, a su vez, afecta la cantidad de recursos hídricos disponibles para uso directo. Las preocupaciones por la calidad del agua están aumentando como una dimensión importante de la seguridad del agua en todo el mundo. Desde 1990, la contaminación del agua ha aumentado en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina, debido a la creciente cantidad de aguas residuales como resultado del crecimiento demográfico, el aumento de la actividad económica y la expansión de la agricultura, así como el vertido de aguas residuales sin tratamiento. (...). La eutrofización, impulsada por el exceso de nitrógeno y fósforo, puede provocar floraciones de algas potencialmente tóxicas y disminución de la biodiversidad. El vertido de aguas residuales sin tratar en mares y océanos explica en parte por qué cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas: se estima que 245,000 km² de ecosistemas marinos están afectados, con repercusiones en la industria pesquera, medios de vida y cadenas alimenticias.

2.2.5.3. Efectos económicos por las aguas residuales no tratadas. PNUMA (2015), citado por UNESCO (2017e), afirma:

Dado que la disponibilidad de agua dulce es fundamental para mantener el bienestar económico de cualquier comunidad humana, la mala calidad del agua constituye un obstáculo adicional al desarrollo económico. La mala calidad del agua dificulta la productividad agrícola en entornos rurales y periurbanos. El agua contaminada puede afectar directamente a las actividades económicas que utilizan el agua, como la producción industrial, la pesca, la acuicultura y el turismo, puede limitar indirectamente la exportación de ciertas mercancías debido a restricciones, e incluso prohibiciones. (p. 43)

2.2.6. Marco legal guatemalteco de las aguas residuales

A pesar de la ausencia de una ley de aguas, se encuentra en vigencia una normativa que regula las descargas de aguas residuales. El reglamento surge de la necesidad de una legislación que promueva la conservación del recurso hídrico del país.

Desde el cinco de mayo del año 2006, entra en vigencia el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Reglamento de las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos. Es un instrumento normativo que propicia el mejoramiento progresivo de la calidad de las aguas, lo que contribuye a la sostenibilidad del recurso hídrico.

Su contenido unifica los criterios y requisitos que deben de cumplirse para las descargas y reúso de las aguas residuales y la disposición de lodos. También, establece los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento de la gestión del agua.

Cabe resaltar que el reglamento debe aplicarse a:

- a) Los entes generadores de aguas residuales;
- b) Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;

- c) Las personas que produzcan aguas residuales para reúso;
- d) Las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales; y
- e) Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

Con el objetivo de regular la calidad del agua residual, el Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece los parámetros técnicos que deben ser considerados para su caracterización, estos se presentan a continuación.

2.2.6.1. Parámetros de medición de las aguas residuales establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

El acuerdo establece parámetros obligatorios para evaluar la calidad del agua residual, los cuales permiten identificar su grado de contaminación y verificar el cumplimiento de los límites máximos permisibles para su descarga o reúso. Los siguientes parámetros abarcan aspectos físicos, químicos y microbiológicos, y son fundamentales para la caracterización del agua en procesos de monitoreo, tratamiento y control ambiental.

- | | |
|----------------------------------|-----------------------|
| a. Temperatura | k. Cadmio |
| b. Potencial de hidrógeno | l. Cianuro total |
| c. Grasas y aceites | m. Cobre |
| d. Materia flotante | n. Cromo hexavalente |
| e. Sólidos suspendidos totales | o. Mercurio |
| f. Demanda Bioquímica de Oxígeno | p. Níquel |
| g. Demanda Química de Oxígeno | q. Plomo |
| h. Nitrógeno total | r. Zinc |
| i. Fósforo total | s. Color |
| j. Arsénico | t. Coliformes fecales |

En el Capítulo V, Artículo 16, el reglamento establece los 20 parámetros de medición de las aguas residuales, para la cuantificación de las características, lo que

permite analizar la calidad del agua residual, además, con la información recolectada de la caracterización se logrará determinar el mejor proceso para su tratamiento, por tanto, es imprescindible que la evaluación se realice tanto al afluente y como al efluente de aguas residuales.

Desde la vigencia del reglamento le han realizado cinco enmiendas que aplazan las fechas de cumplimiento, reformando el artículo 24, lo que ha prolongado indudablemente que, a nivel nacional, la mayor parte de aguas residuales municipales y de urbanizaciones no cuenten con sistemas de tratamiento.

Ante los desafíos que ha implicado la aplicación del reglamento en el contexto nacional, se han realizado ajustes normativos que buscan responder a las limitaciones institucionales y financieras expresadas por las municipalidades. Estos cambios han tenido un efecto directo en el aplazamiento de las obligaciones relacionadas con el tratamiento de aguas residuales. En ese sentido, se considera relevante analizar las reformas introducidas al Acuerdo Gubernativo 236-2006 para comprender las razones que han motivado su modificación a lo largo del tiempo.

2.2.6.1.1. Enmiendas del Acuerdo Gubernativo 236-2006. Cuenta con cinco reformas, las cuales han postergado el cumplimiento del tratamiento de las aguas residuales. El plazo se debe a que las municipalidades manifestaron la imposibilidad en virtud de la ausencia de recursos financieros y presupuestarios.

- **Acuerdo Gubernativo No. 129-2015.** Entró en vigencia el 30 de abril del 2015, contando con cuatro etapas para su cumplimiento. Para la etapa uno (2 de mayo de 2017), etapa dos (2 de mayo de 2020), etapa tres (2 de mayo de 2024), etapa cuatro (2 de mayo de 2029).
- **Acuerdo Gubernativo No. 110-2016.** Entró en vigencia el 02 de mayo del 2016, contando con cuatro etapas de cumplimiento. Etapa uno (6 de mayo de 2019),

etapa dos (6 de mayo de 2023), etapa tres (6 de mayo de 2027), etapa cuatro (6 de mayo de 2031).

- **Acuerdo Gubernativo No. 138-2017.** Entró en vigencia el 28 de junio del 2017, contando con cuatro etapas para el cumplimiento. Para la etapa uno (2 de mayo de 2019), etapa dos (2 de mayo de 2023), etapa tres (2 de mayo de 2027), etapa cuatro (2 de mayo de 2031).
- **Acuerdo Gubernativo No. 58-2019.** Entró en vigencia el 30 de abril del 2019, contando con tres etapas para el cumplimiento. Para la etapa uno (29 de noviembre de 2019), etapa dos (2 de mayo de 2024), etapa tres (2 de mayo de 2028). En esta reforma se redujeron a tres etapas. Para brindar más información sobre las enmiendas, ver Anexo 2.
- **Enmienda vigente, Acuerdo Gubernativo No. 285-2022.** Se reformó el artículo 24 bis. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores, para aguas residuales municipales. Actualmente las fechas máximas de cumplimiento, son las siguientes: para la etapa uno (4 de mayo de 2026), para la etapa dos (2 de mayo de 2030) y para la etapa tres (3 de mayo de 2034).

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, les establecen lo siguiente:

- a) El 30 de mayo del año 2019, las municipalidades deberán contar con el Estudio Técnico que estipula el artículo 5, del 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.

No obstante, las municipalidades que al vencimiento del plazo establecido al párrafo anterior, aún no cuenten con dicho Estudio tendrán hasta el treinta de mayo de 2024 para elaborar el mismo.

- b) El 02 de mayo del año 2025, 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.
- 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. El desarrollo de las obras se hará según los siguientes porcentajes:
 - c.1) El 2 de mayo del año 2027, todas las municipalidades deberán de cumplir con tener en operación sistemas de tratamiento para el sesenta por ciento (60 %) del total de las descargas consignadas en el inventario, que debe adjuntarse al Estudio Técnico.
 - c.2) El 3 de mayo del año 2031, todas las municipalidades deberán de cumplir con tener en operación sistemas de tratamiento para el restante cuarenta por ciento (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 cien por ciento (100%) del total de las descargas del inventario. (MARN, 2022, p. 3, 4).

A continuación, se presenta la tabla de reducción progresiva con las etapas y fechas de cumplimiento para el sistema de tratamiento de aguas residuales, establecidas actualmente.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores de aguas residuales municipales, según Artículo 24 bis, del Acuerdo Gubernativo 285-2022, reforma del Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

		Fecha máxima de cumplimiento		
		4 de mayo del año 2026	2 de mayo del año 2030	3 de mayo del año 2034
		Etapa	Uno	Dos
Parámetros	Dimensiones			
Temperatura	Grados Celsius	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7
Grasas y aceites	Miligramo 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 (100) mililitros	<1x10 ⁷	<1x10 ⁴	<1x10 ⁴
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

Nota. Tabla extraída del Acuerdo Gubernativo 285-2022, actualmente en vigencia.

2.2.7. Puntos de descarga de aguas residuales

El Reglamento de las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos (2006, p.5) lo define como:

El sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

El inventario de los puntos de descarga de aguas residuales forma parte del Estudio Técnico. Estrada (2022) lo define como “el registro de los puntos de descarga de aguas residuales existente para establecer de forma cualitativa y cuantitativa el estado y su ubicación. (p. 1)

Como lo indica el Acuerdo Gubernativo 285-2022, enmienda vigente, las municipalidades deberán contar para el 30 de mayo del 2019 con el Estudio Técnico determinando el número de descargas de aguas residuales, además de incluir el inventario de todas las redes de alcantarillado público, de todas las descargas sin tratamiento o de las condiciones que se encuentren los sistemas de tratamiento en operación.

2.2.8. Carga contaminante

El Reglamento de las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos (2006) indica, “es el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en el efluente y expresados en kilogramo por día”. (p. 3)

Asimismo, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM de Colombia (s.f, p.4), lo definen como:

Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertido por una corriente residual; se mide el caudal de descarga y la carga contaminante se expresa en kilogramos de oxígeno diatómico consumido en un día (kg O₂/día).

$$\text{Carga contaminante} = \text{DBO}_5 \text{ (kg O}_2/\text{m}^3) * \text{caudal (m}^3/\text{día})$$

Es decir que es la concentración de contaminantes vertidos en una zona y en un tiempo determinado. Al calcular la carga contaminante en función a la DBO, permitirá medir el grado de contaminación biológica del agua.

2.2.9. Tipos de muestras

Los métodos de muestreo de aguas se definen como la extracción de una porción representativa de agua residual con el propósito de examinar las diversas características que esta posee. La ejecución del análisis comienza previamente con el conocimiento de las normas de precaución que se deben tener en cuenta en el momento de tomar la muestra de agua, el lugar dónde se va a realizar el muestreo y el tipo de muestreo que se va a ejecutar. (Cifuentes, 2021, p. 1)

2.2.9.1. Muestra simple. Como lo indica el Reglamento para las Descargas y Reúso de las Aguas residuales y la Disposición de Lodos (2006), la muestra simple “es tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos en el momento de la toma. (p.5)

2.2.9.2. Muestra compuesta. El reglamento indica que “son dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos”. (p.5)

2.2.10. Método volumétrico para el cálculo de caudales

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático de Guatemala (2017), en el Manual de medición de caudal, menciona que “es usado para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa”. (p. 3)

Agrega “consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito”

$$Q = \frac{V}{T}$$

Q = caudal expresado en m³/s

V = volumen dado en m³

T = tiempo en segundos

2.2.11. Dotación

Es la cantidad de agua que se le asigna a una persona para su consumo diario, y se expresa en litros por habitante por día (lts/hab/día).

Tabla 2. Rangos de dotación de agua para consumo humano.

Categoría	Actividad	Dotación
Poblacional	2500 – 15000	200 l/hab/día
	15000 – 30000	250 l/hab/día

Nota. Gerencia de Normas Técnicas de CONAGUA, México, s.f.

2.2.12. Plantas de tratamiento de aguas residuales

El Reglamento para las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos (2006) indica, “cualquier proceso físico, químico y biológico o una mejora las características de las aguas residuales”. (p.5).

Asimismo, el Sistema Nacional de Información Ambiental, Perú (s.f, p. 3) indica:

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o su aprovechamiento mediante el reúso.

2.2.12.1. Etapas de tratamiento de aguas residuales. Para el tratamiento de aguas residuales básicamente se divide en: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

- **Pretratamiento.** Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos y sólidos finos con densidad mayor al agua y arenas, con el fin de facilitar el tratamiento posterior. Son usuales el empleo de canales con rejillas gruesas y finas, desarenadores, y en casos especiales se emplean tamices.
- **Tratamiento primario.** La función de esta etapa es la de eliminar los sólidos suspendidos, mediante un proceso de sedimentación gravitatorio o bien mediante precipitación, bien asistida o por sustancias químicas añadidas. La eliminación de sólidos se realiza mediante la criba en base al tamaño de partícula.
- **Tratamiento secundario.** El fundamento del tratamiento secundario es la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO. Los sistemas más empleados son:
 - Biofiltros o filtración biológica, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos.
 - Lodos activados, entre los que se encuentran los convencionales y los de aireación extendida
 - Lagunas de estabilización de los tipos facultativas y aireadas. (p. 20)

Valencia (s.f), agrega, la digestión anaerobia como sistema biológico para el tratamiento de aguas residuales, es eficiente para la eliminación de una parte importante de la materia orgánica. (párr. 1,3)

- **Tratamiento terciario.** Tiene como objetivo lograr fundamentalmente la remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo. Usualmente, la finalidad del tratamiento de nivel terciario es evitar que la descarga del agua residual, tratada previamente, ocasione la eutrofización o crecimiento generalizado de algas en lagos, lagunas o cuerpos de agua de baja circulación, ya que ello desencadena el consumo de oxígeno disuelto con los consecuentes impactos sobre la vida acuática del cuerpo de agua receptor. (Sistema Nacional de Información Ambiental, Perú. s.f. p. 21)

2.2.13. Cumplimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con la enmienda vigente.

Con lo establecido en la enmienda vigente, para el dos de mayo del 2025, todas las municipalidades debieron de cumplir con tener en operación sistemas de tratamiento completos para iniciar con la reducción de los parámetros en la etapa uno, asimismo, estos deben de cumplir con los límites máximos permisibles.

Para el tres de mayo del 2027, todas las municipalidades deben de tener en operación sistemas de tratamiento para el 60% del total de descargas consignadas en el inventario y para el tres de mayo del 2031 se deberán de cumplir con el 40% de las descargas consignadas en el inventario.

Las autoridades municipales que cuentan con plantas de tratamiento u otro sistema de tratamiento, deberán de realizar evaluaciones iniciales y periódicas para comprobar que se encuentren funcionando en óptimas condiciones y en cumplimiento en la reducción progresiva de los parámetros y de las fechas establecidas.

III. Objetivos

3.1. Objetivo general:

Evaluar el manejo de las aguas residuales en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

3.2. Objetivos específicos:

- Identificar los puntos de descarga de las aguas residuales de cantón Cerrito.
- Evaluar la eficiencia del tratamiento en función de la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de las plantas de tratamiento de aguas residuales de cantón Cerrito.
- Desarrollar una propuesta de mejora de manejo de las aguas residuales descargadas en cantón Cerrito.

IV. Materiales y métodos

4.1. Materiales y equipo

Durante la ejecución de la investigación fueron empleados material y equipo, los que se enlistan a continuación:

Tabla 3. Materiales y equipo utilizados en el desarrollo de la investigación.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Libreta de campo	1	Q 24.00	Q 24.00
Lapiceros	2	Q 1.00	Q 2.00
Calculadora	1	Q 90.00	Q 90.00
Formatos de entrevista	2	Q 1.00	Q 2.00
Impresión de entrevistas	250	Q 0.25	Q 62.50
Mascarillas	4	Q 1.00	Q 4.00
Guantes	4	Q 1.50	Q 12.00
Cubetas plásticas (para el aforo)	2	Q 18.00	Q 36.00
Análisis Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	3	Q 300.00	Q 900.00
Cinta métrica de 100 m de longitud	1	Q 85.00	Q 85.00
Computadora personal (alquiler por hora)	1	Q 10.00	Q 900.00
Total			Q 1,517.50

Nota. Elaboración en base a cotizaciones realizadas en la localidad, 2022.

4.2. Metodología

Para la evaluación del manejo de las aguas residuales tratadas en cantón Cerrito, la metodología desarrollada consistió en diversas técnicas de investigación entre ellas; encuestas, visitas de campo, entrevista y toma de muestras.

4.2.1. Identificar los puntos de descarga de las aguas residuales de cantón Cerrito.

Se identificaron los puntos de descarga de las aguas residuales, a través de una visita de campo guiada por el técnico de la Oficina Municipal de Agua y Saneamiento OMAS, además, se contó con el apoyo del subdelegado de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal UGAM.

La visita de campo consistió en el recorrido del cantón donde el técnico dio a conocer cuáles son los puntos de descarga, con el apoyo del subdelegado de UGAM se tomaron las coordenadas geográficas con la aplicación Handy GPS, estas fueron anotadas en la libreta de campo.

4.2.1.1. Elaboración de un mapa de los puntos de descargas de aguas residuales.

El mapa se elaboró utilizando el software de acceso libre Quantum GIS (QGIS), donde se identificaron los puntos de descargas de aguas residuales de cantón Cerrito. Se utilizaron de la barra de herramientas dos principales formatos ráster y vectoriales.

El formato ráster se utilizó para seleccionar la ortofoto de Suchitepéquez con el No. 18592_05_ORT_RGB para la tipificación de cantón Cerrito. Para agregar la capa de puntos se utilizó el formato shape, se localizó cada punto de descarga individualmente. Para exportar el mapa como imagen se seleccionó la herramienta de nueva composición de impresión y se agregó la información correspondiente (título, leyenda, logos, escala).

4.2.1.2. Elaboración del inventario de los puntos de descarga de aguas residuales.

Con los puntos identificados se realizó el inventario de descarga de aguas residuales. El inventario contiene los puntos identificados, las coordenadas geográficas tomadas con la aplicación Handy GPS y el caudal, los resultados se encuentra en Tabla 5.

4.2.2. Evaluar la eficiencia del tratamiento en función de la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las plantas de tratamiento de aguas residuales de cantón Cerrito.

Se evaluó el parámetro de DBO del efluente de cada una de las plantas de tratamiento, dado que las aguas residuales generadas son domiciliares, por lo tanto, contienen mayor carga de nutrientes lo que indicaría si el sistema de tratamiento es eficiente en la reducción de la materia orgánica. Además, el cumplimiento del objetivo requirió la generación de información descrita en párrafos siguientes.

4.2.2.1. Información sobre el agua residual generada por los habitantes.

Para obtener información sobre las actividades cotidianas que impactan en el agua residual, se entrevistó a una persona adulta por cada vivienda de cantón Las Flores 2 y cantón Cerrito. (Ver Anexo 1)

Para el casco urbano se realizó una estimación de la población basada con los datos del último censo realizado en el año 2018, y con una proyección para el presente año.

4.2.2.2. Cálculo de caudal de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento.

Como lo establece el Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, en su Artículo 50. Medición de caudal.

Para calcular el caudal de aguas residuales se empleó el método volumétrico que consistió en colocar un recipiente de volumen conocido registrando el tiempo de llenado.

Debido a que las plantas de tratamiento de aguas residuales no cuentan con la canaleta de Parshall (utilizada para calcular caudales), se tomó el caudal en la salida de cada una de las plantas de tratamiento.

Se realizaron dos mediciones de caudales para obtener registros con lluvias más intensas, la primera medición de caudal fue en el mes de junio y la segunda medición en julio.

Las mediciones de caudales se realizaron con el apoyo del personal de UGAM, para la medición del mes de junio se utilizó una cubeta plástica de nueve litros, para la segunda medición en julio se utilizó una cubeta plástica de 11 litros, las mediciones se realizaron a cada 30 minutos en la temporalidad de 9:30 a 13:00 horas. Para el cálculo del caudal se empleó la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{V}{T}$$

Q = caudal expresado en m^3/s

V = volumen dado en m^3

T = tiempo en segundos

Para obtener el caudal que ingresa a las plantas de tratamiento se ingresaron los datos en una hoja de Excel, se insertó una tabla por cada una de las plantas de tratamiento, en cada tabla se sumó la columna de mediciones, el resultado se dividió en ocho (total de mediciones) con el resultado se obtuvo el promedio del caudal que ingreso a cada planta de tratamiento.

Para expresar el caudal del agua residual a metros cúbicos (m^3) el valor se dividió en 1000 de acuerdo con la unidad de medida de volumen ($1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$).

El caudal que ingresa a las plantas de tratamiento obtenido en las mediciones de campo se expresó en metros cúbicos por segundo (m^3/s), como indica el manual de operaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas FAFA, la

capacidad de cada planta de tratamiento es de 100 m³/día por lo tanto se realizó la conversión, se multiplicó el caudal por el total de segundos que tiene un día (86400 segundos) teniendo como resultado m³/día.

4.2.2.3. Toma de muestras.

Se tomaron tres muestras simples para el parámetro de DBO, para ello se utilizaron tres recipientes plásticos esterilizados de 2,000 ml, como lo indica el capítulo II del Acuerdo Ministerial 105-2008. Manual del Reglamento de las Descargas, Reúso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos.

La toma de muestras de aguas residuales se realizó con el apoyo del asistente del laboratorio de aguas del CUNSUROC, proporcionando los recipientes para las muestras, como equipo de protección se utilizaron mascarillas y guantes de látex.

El procedimiento para obtener las muestras fue: se tomaron dos muestras, una en la salida de cada planta de tratamiento de aguas residuales (denominadas A y B), colocando el recipiente en el punto de salida, realizando tres lavados previos con el agua residual con el propósito de evitar la contaminación de la muestra. El recipiente fue llenado por completo con la muestra.

La tercera muestra se realizó en el punto de descarga del agua residual no tratada, utilizando el mismo procedimiento.

Como lo establece el Manual del Reglamento de las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, en el capítulo II, Registro asociado a las muestras.

Se agregó el registro con los siguientes datos:

- a. Datos generales de la muestra.
- b. Fecha y hora de toma de muestra.
- c. Nombre de la entidad responsable que efectuó la toma de muestra.
- d. Tipo de muestra.

- e. Método de conservación.
- f. Análisis requerido.
- i. Información complementaria.

4.2.2.3.1. Transporte de las muestras (cadena de custodia).

Al finalizar con la toma de muestras estas fueron dispuestas adentro de una hielera para su conservación y transporte. La cadena de custodia estuvo a cargo del asistente del laboratorio de aguas del CUNSUROC.

4.2.2.4. Cálculo de la carga contaminante de las aguas residuales de las plantas de tratamiento.

Para el cálculo de la carga contaminante se utilizó el caudal promedio que ingresa a cada una de las plantas de tratamiento (denominadas A y B), asimismo el valor se multiplicó por el valor de DBO de cada planta de tratamiento.

El cálculo también se realizó al agua residual no tratada para comprobar si existe una disminución en la carga contaminante. Para el cálculo se empleó la fórmula establecida en el Acuerdo Ministerial 105-2008.

$$\text{Carga contaminante} = \left(DBO_5 * \text{caudal} * \frac{1 \text{ kg}}{1,000,000} * \frac{84600 \text{ s}}{1 \text{ día}} \right)$$

4.2.3. Desarrollar una propuesta para el manejo de las aguas residuales generadas en cantón Cerrito.

La propuesta para el manejo de las aguas residuales consiste calcular el volumen del agua residual no tratada, además se redactó el manual de mantenimiento de las plantas de tratamiento y se realizó la proyección a 20 años como estimación para el manejo de las aguas residuales.

4.2.3.1. Cálculo de caudal de las aguas residuales no tratadas.

Para el cálculo de caudales se utilizó el método volumétrico, las mediciones se realizaron a cada 30 minutos en una temporalidad de 9:30 -13:00 horas.

Las mediciones se tomaron en el mes de junio y julio para registrar caudales con lluvias más intensas, se contó con el apoyo del personal de UGAM, siendo la fórmula empleada la descrita en el inciso 4.2.2.2.

4.2.3.2. Proyección de población

La proyección de la población futura a 20 años (2022 – 2042) fue calculada en base a los porcentajes de la tasa poblacional establecidos por el Instituto Nacional de Estadística INE. La estimación de la población futura fue a través del método de crecimiento geométrico de Francois Verhulst, citado por el Instituto Científico del Pacífico ICP de Perú. (s.f)

Se empleó la siguiente fórmula.

$$PN = P1 (1 + r)^n$$

En donde:

PN = población futura

$P1$ = población actual o en el tiempo

r = tasa de crecimiento poblacional

n = período de diseño en años

Las tasas de crecimiento poblacional utilizadas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 4. Tasas de crecimiento poblacional establecidas por el Instituto Nacional de Estadística.

Años	Tasa de crecimiento poblacional
2020-2030	1.1%
2030-2040	0.8%
2040-2050	0.6%

Nota. INE, Estimación y proyección de la tasa de crecimiento, p. 15, 2019.

Para realizar la proyección de la población de cantón Cerrito se tomaron los 213 habitantes, los 226 de cantón Las Flores 2, y los 2957 del casco urbano, con un total de 3396 personas.

Teniendo los datos de la población actual, se introdujeron a la fórmula con las distintas tasas de crecimiento establecidas por el INE. En el Anexo 8, se encuentra la estimación de crecimiento para la población para cada año de los próximos 20 años.

4.2.3.3. Proyección de caudal

La proyección de caudal se determinó a partir de la población futura con una estimación basada a 20 años (2022- 2042), para establecer la propuesta de manejo de las aguas residuales generadas en cantón Cerrito y cantón Las Flores 2.

Se empleó la siguiente fórmula:

$$Qf = DOT * Pf * 80\%$$

En donde:

DOT = dotación de agua (lts/hab/día)

Pf = población futura

80% = factor de retorno de agua al sistema de alcantarillado público.

4.2.3.4. Manual de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Se redactó un manual para las plantas de tratamiento de aguas residuales, contiene la descripción del funcionamiento de las PTAR y recomendaciones para el mantenimiento.

Además, se plantea una alternativa para el manejo de lodos proveniente de las plantas de tratamiento, consiste en un digestor de baja carga que funciona como un sistema anaerobio.

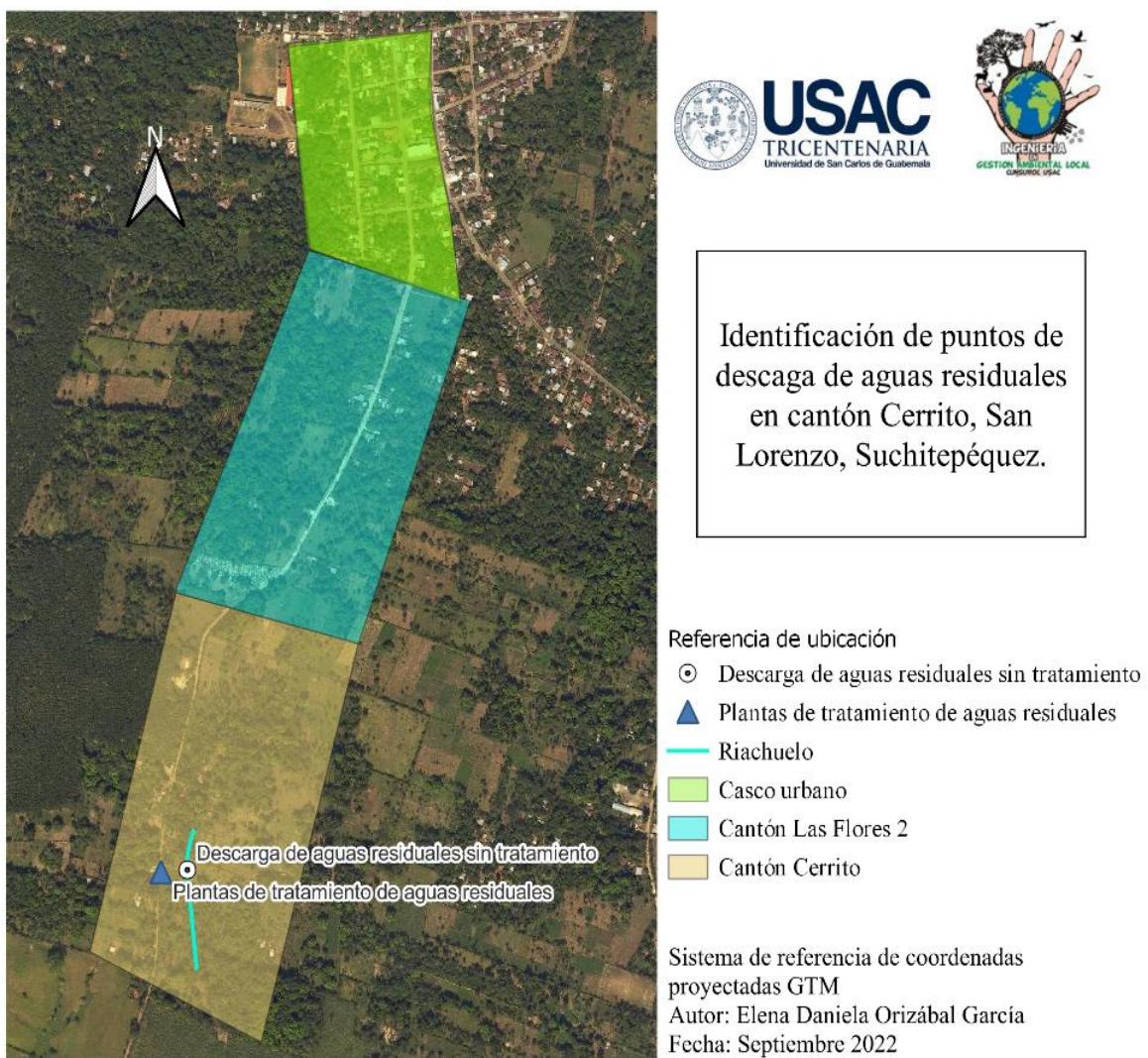
V. Resultados y discusión

5.1. Identificar los puntos de descargas de las aguas residuales de cantón Cerrito

Son tres puntos de descarga de aguas residuales, dos son del efluente de las PTAR, A y B, uno de las aguas residuales no tratadas, los puntos de descarga desembocan al riachuelo.

5.1.1. Elaboración de un mapa de los puntos de descargas de aguas residuales

Figura 4. Mapa de identificación de los puntos de descarga de aguas residuales, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.



Nota. Mapa elaborado con la ortofoto No. 18592_05_ORT_RGB en el software QGIS, 2022.

5.1.2. Elaboración del inventario de los puntos de descarga de aguas residuales

En cantón Cerrito actualmente existen tres puntos de descarga de aguas residuales, dos provenientes de las plantas de tratamiento y uno sin tratamiento, los tres puntos de descarga vierten el efluente al riachuelo que posteriormente éste desfoga al río Xelecá.

Tabla 5. Inventario de puntos de descarga de aguas residuales, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

No.	Punto de descarga	Caudal (m ³ /s)		Coordenadas
1	Planta de tratamiento de aguas residuales “A”	Con tratamiento	0.002394	14°28'25"N -91°30'56"W
2	Planta de tratamiento de aguas residuales “B”	Con tratamiento	0.002222	14°28'25"N -91°30'56"W
3	Descarga de aguas residuales	Sin tratamiento	0.002406	14°28'25"N -91°30'56"W
Total de pozos de registro				40

Nota. Caudal obtenido en mediciones de campo, 2022.

5.2. Evaluar la eficiencia del tratamiento en función de la reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno de las plantas de tratamiento de aguas residuales de cantón Cerrito.

Los resultados obtenidos requeridos para el cumplimiento del objetivo se describen a continuación.

5.2.1. Información sobre el agua residual

Cantón Cerrito cuenta con una población de 213 habitantes y un total de 52 viviendas, cabe resaltar que, durante el desarrollo de la investigación, el agua residual que ingresa a las plantas de tratamiento no son únicamente las generadas por los habitantes de cantón Cerrito también del casco urbano y de cantón Las Flores 2. El agua residual generada es de tipo ordinaria (doméstica). La información se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 6. Información del ente generador de agua residual descargadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Descripción	Habitantes	Viviendas	Alcantarillado público	
			Conectados	No conectados
Casco urbano (estimación)	2957	625	100%	
Cantón Las Flores 2	226	56	100%	
Cantón Cerrito	213	52	85%	15%
Total	3396	733		

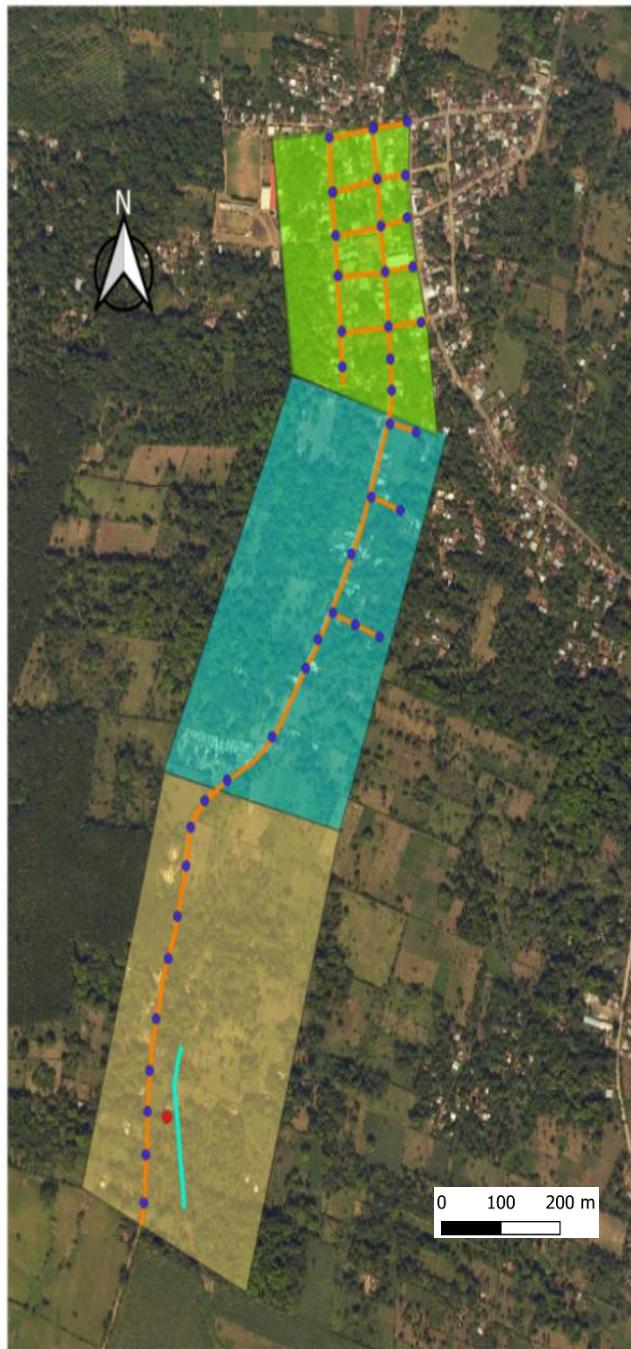
Nota. Elaboración basada con información recolectada, 2022.

Como se observa en la tabla, la población estimada del casco urbano es 2957 personas, siendo el sector que tiene más habitantes. Cantón Cerrito cuenta con 213 habitantes, por lo que se deduce que las aguas residuales que ingresan a las dos plantas de tratamiento provienen principalmente de los habitantes del casco urbano.

Se realizó un mapa para representar la distribución del sistema de alcantarillado público de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento.

El mapa de la Figura 5, muestra el sistema de alcantarillado público que ingresa a las plantas de tratamiento de aguas residuales, iniciando desde el casco urbano, cantón Las Flores 2 y cantón Cerrito, en total son 40 pozos de registro.

Figura 5. Mapa de la distribución del sistema de alcantarillado público de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento ubicadas en cantón Cerrito.



Distribución del alcantarillado público que ingresa a las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Leyenda

- Pozos de registro
- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Red de alcantarillado público
- Riachuelo
- Casco urbano
- Cantón Las Flores 2
- Cantón Cerrito

Sistema de referencia de coordenadas
proyectadas GTM

Autor: Elena Daniela Orizábal García

Fecha: Septiembre 2022

Nota. Mapa elaborado con la información recolectada en la visita de campo, 2022.

5.2.2. Cálculo de caudal de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento

Las mediciones de caudales se realizaron con el objetivo de conocer el volumen de agua residual que ingresa a las plantas de tratamiento, ya que en la actualidad no llevan bitácora de registro.

Dada la necesidad de generar información sobre el volumen del agua residual, se midieron caudales en el mes de junio y julio para registrar el volumen que ingresa a cada una de las plantas de tratamiento. (Ver Anexo 3).

De acuerdo con la medición de caudales registrados en el mes de julio se evidencia un aumento de volumen que ingresó a las plantas de tratamiento de aguas residuales, se debe a que las lluvias fueron más intensas.

Tabla 7. Tabla comparativa de caudales que ingresa a las plantas de tratamiento de aguas residuales, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Junio		Julio	
PTAR "A"	PTAR "B"	PTAR "A"	PTAR "B"
0.001092 m ³ /s	0.002005 m ³ /s	0.002394 m ³ /s	0.002222 m ³ /s

Nota. Basado en los caudales registrados en junio y julio, 2022.

Tabla 8. Representatividad basada en la capacidad nominal de las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Junio		Julio	
PTAR "A"	PTAR "B"	PTAR "A"	PTAR "B"
94.39 m ³ /día	173.28 m ³ /día	206.87 m ³ /día	192.05 m ³ /día

Nota. Basado en los caudales registrados en junio y julio, 2022.

Como lo indica el manual de operaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas FAFA, las plantas de tratamiento tienen una capacidad nominal de 100 m³/día, su característica modular le permite atender mayores caudales en operación en paralelo a dos o más unidades.

Es notable que en el mes de julio las dos plantas de tratamiento le ingresa más agua residual a su capacidad nominal, se considera que el aumento sea por la conexión del agua pluvial al sistema de alcantarillado público.

5.2.3. Toma de muestras

Como resultado del análisis del parámetro de DBO₅, se presenta la siguiente tabla.

Tabla 9. Resultado del parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno del agua residual descargada en el riachuelo, cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Parámetro	PTAR "A"	PTAR "B"	Agua no tratada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Afluente 39 mg O ₂ /l	Afluente 39 mg O ₂ /l	39 mg O ₂ /l
	Efluente <10 mg O ₂ /l	Efluente <10 mg O ₂ /l	

Nota. Basado en el resultado, realizados a las plantas de tratamiento de aguas residuales, 2022.

Los análisis realizados al efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales presentan una Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO₅ de <10 mg O₂/l, que indican un valor menor al límite de detección, siendo este 10 mg O₂/l.

El agua residual no tratada presenta un DBO₅ de 39 mg O₂/l. Lo que indica que las plantas de tratamiento han disminuido la concentración hasta reducir a un valor menor al límite de detección.

Cabe resaltar que las muestras fueron tomadas en el mes de junio estando en época lluviosa, en donde hay mayor volumen de agua.

5.2.4. Cálculo de la carga contaminante de las aguas residuales de las plantas de tratamiento

La carga contaminante de la planta de tratamiento de aguas residuales “A” es de 0.94 kg/día, y la de la planta de tratamiento “B” es de 2.00 kg/día, descargadas al riachuelo.

Las dos cargas contaminantes provenientes de las plantas de tratamientos tienen un valor sumamente bajo, lo que se considera positivo para el cuerpo receptor.

Además, se calculó la carga contaminante del agua residual no tratada, siendo el resultado de 7.75 kg/día.

5.3. Desarrollar una propuesta de manejo de las aguas residuales

Para la evaluación del manejo de las aguas residuales generadas se desarrolló la propuesta para las aguas tratadas y no tratadas, que se describe a continuación.

5.3.1. Medición de caudales de agua residual no tratada

De acuerdo a la medición de caudales se obtuvo que actualmente son 2.40 l/s, equivalentes a 207.91 m³/día de agua residual que desfoga al riachuelo sin ningún tipo de tratamiento por lo que se debe de instalar un sistema para su tratamiento.

5.3.2. Verificación de proyección de población

La proyección poblacional para 20 años del casco urbano, cantón Las Flores 2 y cantón Cerrito para el año 2042 se estima de 4035 habitantes, de acuerdo con las tasas de crecimiento establecidas por INE. Debe hacerse una verificación de esa estimación en períodos de 10 años.

5.3.3. Proyección de caudal

La proyección de caudal se determinó a partir de la población futura con una estimación basada a 20 años (2022- 2042), para establecer la propuesta de manejo de las aguas residuales generadas por los habitantes del casco urbano, cantón Las Flores 2 y cantón Cerrito.

Con una población futura de 4035 personas, una dotación de agua de 200 lts/hab/día y un 80% de factor de retorno, el caudal futuro es de 645,600 l/día equivalente a 645.60 m³/día.

5.3.4. Medición de DBO en época seca y época lluviosa

Las muestras de DBO fueron tomadas en los tres puntos de descarga, se obtuvo un valor menor a los límites permisibles y fueron tomadas en época lluviosa. Se debe analizar nuevamente el parámetro, pero en época seca, para llevar los registros si existe un aumento de DBO.

Tabla 10. Total de agua residual descargada en el riachuelo ubicado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Descripción	Porcentaje (%)	Caudal (m ³ /día)
Agua residual con tratamiento	66	398.91
Agua residual sin tratamiento	34	207.91
Total		606.83

Nota. Tabla basada a mediciones de caudal en campo, 2022.

El casco urbano, cantón Cerrito y cantón Las Flores 2, generan un total de 606.83 m³/día, de los cuales el 66% equivalente a 398.91 m³/día, ingresa a las plantas de tratamiento y el 34% no es tratado equivalente a 207.91 m³/día.

5.3.5. Manual de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales

En el Anexo No. 5 se encuentra el manual de mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales que contiene una descripción sobre del manejo de las aguas tratadas, recomendaciones para el mantenimiento preventivo y correctivo, además de una propuesta para el manejo de lodos.

VI. Conclusiones

- Se identificaron tres puntos de descarga de aguas residuales identificados, dos provienen del efluente de las plantas de tratamiento A y B, y el tercero de las aguas residuales no tratadas. Las tres descargas desembocan en el riachuelo El Zanjón ubicado a un costado de las plantas.
- La disminución de DBO de la planta de tratamiento “A” es 11.6%, de la planta de tratamiento “B” es de 11.6% ppm, ambas presentan un valor menor al límite máximo permisible, con una carga contaminante para la planta de tratamiento “A” de 0.94 kg/día, y para la planta de tratamiento “B” de 2.00 kg/día, ambos valores presentan una carga contaminante baja para el cuerpo receptor, lo que indica que en función a la reducción de DBO, el sistema de tratamiento es funcional.
- Para el manejo de las aguas residuales se propone instalar dos plantas de tratamiento para el agua residual no tratada que actualmente tiene un caudal de 207.91 m³/día, asimismo la construcción de la caja derivación de caudal. Con la proyección a 20 años se tendrá un caudal de 645.60 m³/día, con un aumento de 38.76 m³/día, al caudal actual por lo que propone instalar una planta de tratamiento con el mismo sistema del actual, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA, para las demandas de agua.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda una bitácora de caudales para monitorear el volumen de aguas residuales de los puntos de descarga, actualmente a las plantas de tratamiento le ingresa más volumen a su capacidad, además de elaborar un registro de descargas por viviendas desde el casco urbano a cantón Cerrito para verificar la red de alcantarillado público que ingresa a las plantas de tratamiento.
- Para el 34% del agua residual no tratada, se propone la instalación de dos plantas de tratamiento de aguas residuales FAFA, para tratar 207.91 m³/día, el diseño modular permite tratar mayor caudal en operación en paralelo a una o más unidades. Es de suma importancia para la salud humana y de los recursos naturales, que las aguas residuales generadas reciban un tratamiento antes de ser vertidas al cuerpo receptor.
- Con el objetivo de mantener el buen funcionamiento, la eficacia y eficiencia de las plantas de tratamiento y sus fases se deberá de aplicar lo descrito en el manual de mantenimiento de las plantas de tratamiento.

VIII. Referencias

- Andrade, Y. y Carrasco, E. (septiembre de 2021). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales y la determinación de las propiedades físico químicas de la población Postocalle para su dimensionamiento*. [Tesis de grado, Ingeniería Ambiental]. Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, Perú]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20888/1/UPS%20-%20TTS502>
- Carrillo, W. Loor, X. Negrete, J. y Riera, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Revista Polo del Conocimiento*. 6(3), 8-11. <https://drive.google.com/file/d/1iL2IOBASfiePRwl6jrMzvHvrH3ev35G/view?usp=sharing> DialnetLaCalidadDeLasAguasResidualesDomesticas-79695%20(2).pdf
- Centro de Información sobre Desastres de la Biblioteca Médica Nacional. CIDBIMENA. Tegucigalpa, Honduras. (s.f.). *Caracterización de las aguas residuales urbanas de usodoméstico*. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Mayo2006/pdf/spa/doc9629/doc9629-c.pdf>
- Cifuentes, K. (2021). *Muestreo de aguas residuales*. https://drive.google.com/file/d/17fsiKzOCNvwACBQSSfM1hfsvU5_7o-z/view?usp=sharing
- Comisión Nacional del Agua, México. (s.f.). *Rangos de dotación de agua para consumo humano*. Gerencia de Normas Técnicas. https://drive.google.com/file/d/1_74JNoCQf4WGKN2A_l648Qz7VR7wtqj3/view?usp=sharing
- Estrada, D. (25 de mayo de 2022). *Inventario de puntos de descarga*. Unidad de Acceso a la Información Pública, MARN. https://drive.google.com/file/d/1_8YHfAa0BtfNBE75hRQrtJ3geXfRNfQD/view
- Espigares, M. y Pérez, J. (2015). *Aguas residuales*. Universidad de Salamanca. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. CIDTA. https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_comision.pdf
- Fernández, L. I. (julio de 2013). *Evaluación del diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales propuestar para la localidad de Cosautlán de Carvajal, Veracruz*. [Tesis de grado, Ingeniería Química. Universidad Veracruzana, México, Facultad

- de Ciencias Químicas]. <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/42246/LopezfernandezLucerito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fundación Ecomar. (2020). ¿Qué son las aguas residuales?. <https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/>
- Google Erth. (2022). *Localización de cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez, Guatemala*.https://earth.google.com/web/search/municipalidad+de+san+Lorenzo+suchitepequez/@14.4858844,91.5127521,247.52906169a,1019.05544842d,35y,0h,45t,0r/data=CpUBGmsSZQoIMHg4NThlYzJhMzQxOWEyYWYzOjB4OTUwZjVkJU5NDk0YzNlZhniy5_KxPgsQCFx_5Hp0OBWwCoqbXVuawNpcGFsaWRh
- Instituto Científico del Pacífico de Perú. ICI. (2020). [Página de Facebook]. Facebook. <https://www.facebook.com/InstitutoICIP/posts/1632707796936138/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. (s.f.). *Metodología para la Evaluación Aproximada de la Carga Contaminante*.http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021117/Carga_Organica.pdf
- Instituto Nacional de Estadística. INE. (2019). *Estimaciones y proyecciones municipales 2015-2035*. Portal Censo 2018. <https://www.ine.gob.gt/ine/proyecciones/>
- Instituto Nacional de Estadística. INE. (2019). *Estimación y proyección de las tasas de crecimiento media anual*. https://drive.google.com/file/d/1Pj3kLIRjLjHE_z0xOQnuj0xQAHIOsmv/view?usp=sharing
- Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático. ICC. (2017). *Manual de Medición de Caudal*. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>
- Junta de Andalucía. (julio de 2018). *Carga contaminante de efluentes urbanos vertidos al litoral*. Sistema de Indicadores Ambientales. Red de Información Ambiental de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/411920/AGL01_2017.pdf
- Mercadeo del Agua. MERCAGUA. (2019). *Manual de operaciones y de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA*.

- Ministerio de Ambiente. MINAM. Sistema Nacional de Información Ambiental SINIA, Perú. (s.f.). *Manual de tratamiento y reúso de aguas residuales.* <https://drive.google.com/file/d/1PmpU2OhQORSMDLUDPn1Im9NxIKHCcPN/view>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. MARN. (2006). *Reglamento de las descargas y reúso de las aguas residuales y la disposición de lodos [Acuerdo Gubernativo 236-2006].* <https://www.ecosistemas.com.gt/wp-content/uploads/2010/07/07-Acuerdo-gubernativo-236-2006-Reglamento-descargas-y-reuso.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. MARN. (30 de abril de 2019). *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, Reforma al Acuerdo Gubernativo número 236-2006 [Acuerdo Gubernativo 58-2019].* <https://static1.squarespace.com/static/60ee5f1d1975912dcfd14233/t/61a827e57343ea14f3f189cb/1638410213564/AG+58+2019+Agua.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. MARN. (09 de enero de 2008). *Manual del Reglamento de las descargas y reúso de las aguas residuales y la disposición de lodos. [Acuerdo Ministerial 105-58].* <https://drive.google.com/file/d/1AoF2yGUmRyfkfrcXRoSH67fw69wKK1Py/view>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. OEFA. Perú. (abril de 2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales.* https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. UNESCO. (2017). *Aguas residuales: El recurso desaprovechado.* Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/aguas-residuales-el-recurso-desaprovechado>
- Portal de la municipalidad de San Lorenzo, Suchitepéquez. (2019). *Antecedentes históricos del municipio de San Lorenzo, Suchitepéquez.* <http://munisanlorenzosuch.gob.gt/historia/>
- Secretaría General de Planificación y Programación. SEGEPLAN. (diciembre de 2019). *Plan de Desarrollo Municipal y Plan de Ordenamiento Territorial 2019-2032.* <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/planes-2018-2019-departamento->

de-suchitepequez/file/1326-san-lorenzo-plan-de-desarrollo-municipal-y-ordenamiento-territorial-2-019-2-032

Universidad de Salamanca. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua.

CIDTA. (s.f.). *Características de las aguas residuales.*

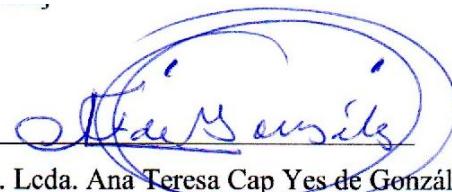
<https://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/ /libros/Caracteristicas.PDF>

Universidad Politécnica de Cartagena, España. (s.f.). *Análisis del Agua.*

https://www.upct.es/~minaeees/analisis_aguas.pdf

Valencia, M. S. (s.f.). *Digestión anaerobia.* [Blog de novedades de aguas residuales].

<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/digestion-anaerobia-de-fangos-de-edarproblemasysoluciones#:~:text=La%20digesti%C3%B3n%20anaerobia%20de%20fangos,de%20proliferaci%C3%B3n%20de%20bacterias%20infecciosas.>



Vo. Bo. Lcda. Ana Teresa Cap Yes de González

Bibliotecaria CUNSUROC.



IX. Anexos

Anexo 1. Guía de entrevista dirigida a los habitantes de cantón Cerrito.



UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO



1. ¿Cuántas personas habitan en la vivienda?

2. ¿La vivienda cuenta con drenaje?

Si No

Si la respuesta es negativa, indique en donde es el desfogue de las aguas residuales que genera la vivienda.

3. ¿Cuenta con agua potable entubada o pozo?

Agua entubada Pozo

4. Si cuenta con agua entubada ¿cuántas horas al día tiene agua?

5. ¿Cuántos puntos de captación de agua potable hay en la vivienda?

6. ¿En qué horario promedio genera más agua residual su vivienda?

7. ¿Mencione en qué actividades utiliza agua potable?

Lavado de trastos Aseo personal Lavado de ropa

Sanitarios Otro: _____

8. ¿Qué otro tipo de actividades realizan que genere impacto al agua residual de su vivienda?

Destace de pollo u otro animal

Vertido de productos cosméticos

Lavado de recipientes químicos agrícolas

Vertido de aceite (vehículo)

Vertido de aceite comestible (comercio)

9. ¿Mencione que productos utiliza para el lavado de ropa y trastos?

10. ¿Deja ir al drenaje restos de comida u otro tipo de objetos?

Si

No

11. ¿Qué acciones estaría dispuesto a realizar para el manejo de aguas residuales en su vivienda?

No verter alimentos

No verter aceite

Disminución de productos (detergente, suavizante para ropa.)

Anexo 2. Mediciones de caudales del agua residual en el mes de junio y julio.

Tabla 11. Mediciones de caudal del mes de junio, PTAR "A".

PTAR "A"			
Litros	Segundos	Resultado L/s	Resultado m ³ /s
9	6.81	1.321585903	0.001321586
9	9	1	0.001
9	7.54	1.193633952	0.001193634
9	8.28	1.086956522	0.001086957
9	9.08	0.991189427	0.000991189
9	11.09	0.81154193	0.000811542
9	8.23	1.093560146	0.00109356
9	7.25	1.24137931	0.001241379
Sumatoria		8.73984719	0.008739847
Promedio		1.092480899	0.001092481

Nota. Elaboración propia, 2022.

Nota. Elaboración propia, 2022.

Tabla 12. Mediciones de caudal del mes de junio, PTAR "B".

PTAR "B"			
Litros	Segundos	Resultado L/s	Resultado m ³ /s
9	9	4.64	0.001939655
9	9	4.36	0.00206422
9	9	5.19	0.001734104
9	9	5.13	0.001754386
9	9	5.29	0.001701323
9	9	4.33	0.002078522
9	9	4.25	0.002117647
Sumatoria		3.39	0.002654867
Promedio		2.005590609	0.002005591

Tabla 13. Mediciones de caudal del mes de junio, agua residual no tratada.

Agua residual no tratada			
Litros	Segundos	Resultado L/s	Resultado m ³ /s
9	3.36	2.678571429	0.002678571
9	3.15	2.857142857	0.002857143
9	4.15	2.168674699	0.002168675
9	4.1	2.195121951	0.002195122
9	3.7	2.432432432	0.002432432
9	4.25	2.117647059	0.002117647
9	4.4	2.045454545	0.002045455
9	4.71	1.910828025	0.001910828
Sumatoria		18.405873	0.018405873
Promedio		2.300734125	0.002300734

Nota. Elaboración propia, 2022.

**Tabla 14. Mediciones de caudal del mes de julio,
PTAR “A”.**

PTAR “A”			
Litros	Segundos	Resultado L/s	Resultado m^3/s
11	4.45	2.471910112	0.00247191
11	5.15	2.13592233	0.002135922
11	4.3	2.558139535	0.00255814
11	4.52	2.433628319	0.002433628
11	4.58	2.401746725	0.002401747
11	4.64	2.370689655	0.00237069
11	4.57	2.407002188	0.002407002
11	4.63	2.375809935	0.00237581
Sumatoria		19.1548438	0.0191548438
Promedio		2.3943561	0.002394356

Nota. Elaboración propia, 2022.

**Tabla 15. Mediciones de caudal del mes de julio,
PTAR “B”.**

PTAR “B”			
Litros	Segundos	Resultado L/s	Resultado m^3/s
11	6.45	1.705426357	0.001705426
11	7.15	1.538461538	0.001538462
11	4.23	2.60472813	0.002600473
11	4.53	2.428256071	0.002428256
11	4.5	2.444444444	0.002444444
11	4.63	2.375809935	0.00237581
11	5.16	2.131782946	0.002131783
11	4.3	2.558139535	0.00255814
Sumatoria		17.78279364	0.017782734
Promedio		2.222849205	0.002222849

Nota. Elaboración propia, 2022.

**Tabla 16. Mediciones de caudal del mes de julio,
agua residual no tratada.**

Agua residual no tratada			
Litros	Segundos	Resultado L/s	Resultado m ³ /s
11	4.23	2.600472813	0.002600473
11	4.69	2.345415778	0.002345416
11	3.61	3.047091413	0.003047091
11	4.2	2.619047619	0.002619048
11	4.39	2.505694761	0.002505695
11	3.35	3.28358209	0.003283582
11	4.08	2.696078431	0.002696078
11	4.4	2.5	0.0025
Sumatoria		19.25196713	0.01925196
Promedio		2.406495891	0.002406495

Nota. Elaboración propia, 2022.

Anexo 3. Gráficas representativas de caudales que ingresaron a las PTAR en el mes de junio y julio.

Figura 6. Gráfica de caudal del mes de junio, PTAR "A".

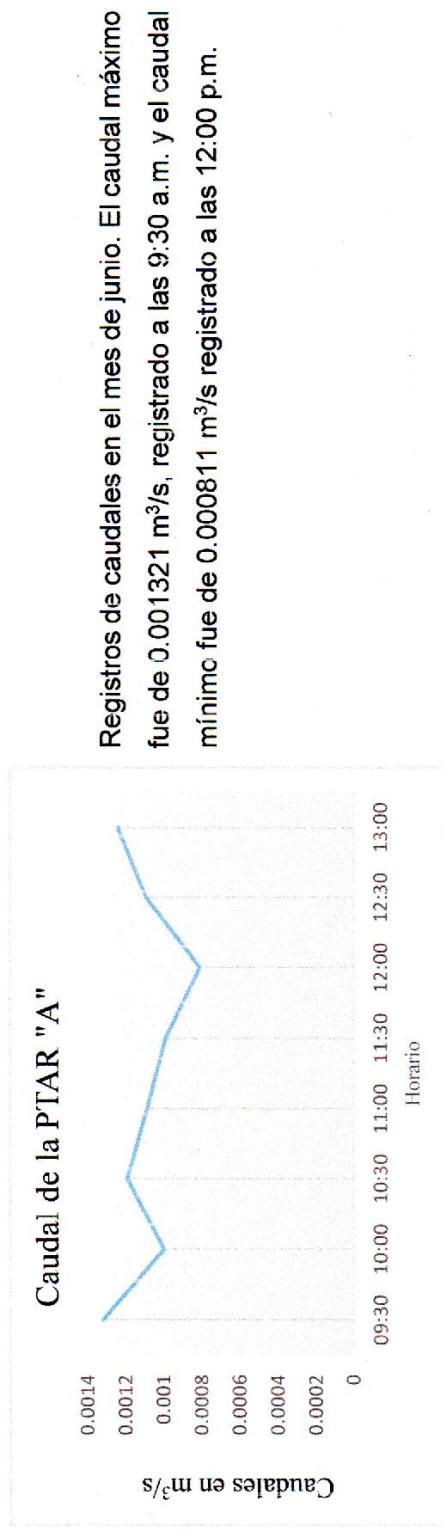
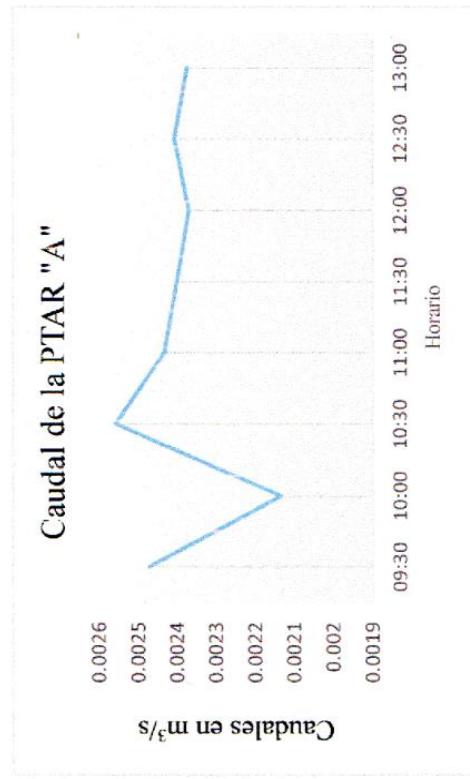


Figura 7. Gráfica de caudal del mes de junio, PTAR "B".



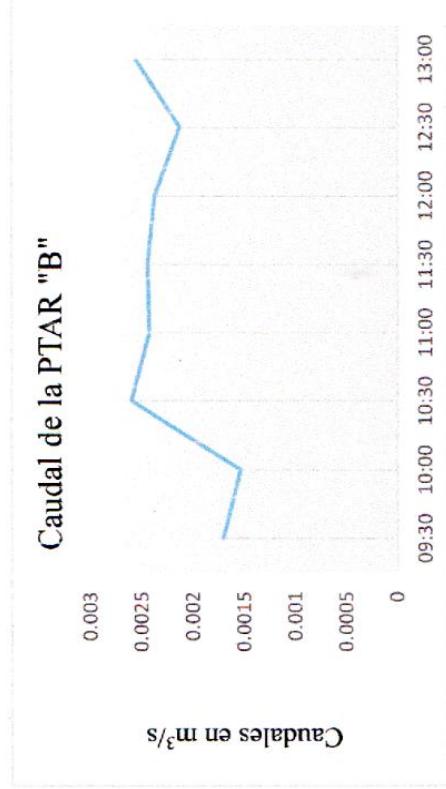
Figura 8. Gráfica de caudal del mes de julio, PTAR "A".



Nota. Elaboración propia, 2022.

Registro de caudales en el mes de julio. El caudal máximo fue de 0.002538 m^3/s registrado a las 10:30 a.m. y el caudal mínimo fue de 0.002135 m^3/s registrado a las 10:00 a.m.

Figura 9. Gráfica de caudal del mes de julio, PTAR "B".



El caudal máximo fue de 0.0026 m^3/s registrado a las 10:00 a.m. y el caudal mínimo fue de 0.001538 m^3/s registrado a las 10:30 a.m.

Nota. Elaboración propia, 2022.

Anexo 4. Fotografías que evidencian el desarrollo de la investigación.

PTAR.
Nota. Orizábal, D., 2022.



Medición de caudal en la salida de las plantas de tratamiento
Nota. Ajtujal, D., 2022.



Medición de caudal del agua residual no tratada.
Nota. Ajtujal, B., 2022.



Apoyo de UGAM en la medición de caudales.
Nota. Racancoj, D., 2022.



Toma de muestras de DBO a las plantas de tratamiento de aguas residuales.
Nota. Ajtujal, B., 2022.



Toma de muestras de DBO a las plantas de tratamiento de aguas residuales.
Nota. Tupul, M., 2022.



Identificación de los puntos de descarga y pozos de registro.
Nota. Ajtujal, D., 2022.



MANUAL DE MANTENIMIENTO



PLANTA DE TRATAMIENTO FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE

Índice general

Contenido	Página
1. Características generales del tratamiento de aguas residuales con el sistema filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA de doble paso.....	1
2. Descripción general del sistema de tratamiento de aguas residuales con filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA	1
3. Descripción del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	2
3.1 Descripción del pretratamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	2
3.2 Descripción del tratamiento secundario de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	3
3.3 Descripción del tratamiento terciario de las plantas de tratamiento de aguas residuales.....	4
4. Mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	5
4.1 Operarios de la planta de tratamiento de aguas residuales	5
4.2 Control de caudal del efluente	5
4.3 Equipo de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento	6
4.4 Muestreos del afluente y efluente	6
4.5 Mantenimiento preventivo.....	6
4.6 Mantenimiento correctivo.....	6
4.7 Pretratamiento	6
4.7.1 Rejillas.....	6
4.7.2 Desarenador.....	7
4.7.3 Trampa grasa	7
4.7.4 Equipo requerido y la disposición final de los desechos.	7

4.7.5	Mantenimiento preventivo.....	7
4.7.6	Mantenimiento correctivo.....	8
4.7.7	Tabla sobre problema operacional para el pretratamiento.....	8
4.8	Tratamiento biológico	10
4.8.1	Decantación/digestión	10
4.8.2	Filtro anaerobio de flujo ascendente de doble paso.....	10
4.8.3	Clarificador	10
4.8.4	Equipo requerido y la disposición final de los desechos	11
4.8.5	Mantenimiento preventivo.....	11
4.8.6	Mantenimiento correctivo.....	11
4.9	Tratamiento terciario.....	12
4.9.1	Cámara de desinfección.....	12
4.9.2	Limpieza y mantenimiento en la cámara de desinfección.....	12
4.9.3	Tratamiento preventivo.....	12
4.9.4	Tratamiento correctivo.....	12
5.	Diagrama de flujo del sistema de tratamiento anaerobio FAFA.....	12
6.	Manejo de lodos provenientes de las plantas de tratamiento con sistema FAFA..	14
6.1	Digestión anaerobia.....	14
6.2	Proceso de digestión anaerobia de bajo carga	14
6.3	Secado de lodos	15
6.4	Mantenimiento del digestor anaerobio.....	15
6.5	Disposición final de los lodos.....	15
7.	Recomendaciones.....	16
8.	Referencias	17

Índice de figuras

Figura	Página
1. Diseño del pretratamiento de las PTAR ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	3
2. Ilustración del sistema de tratamiento de aguas residuales con filtro anaerobio anaerobio de flujo ascendente.....	5
3. Ilustración de cámara de desinfección con tabletas de hipoclorito de sodio	5
4. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales instalado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	13
5. Ilustración de un digestor anaerobio de baja carga	15

Índice de tablas

Tabla	Página
1. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales implementado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	2
2. Sistema de mantenimiento en el pretratamiento de las PTAR ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	12
3. Descripción operacional del pretratamiento implementado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	9
4. Sistema de mantenimiento en el reactor anaerobio de las PTAR ubicado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	11
5. Sistema de mantenimiento del tratamiento terciario implementado en las PTAR ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.....	12

1. Características generales del tratamiento de aguas residuales con el sistema filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA de doble paso.

Mercadeo del Agua MERCAGUA (2018, p. 4) menciona las características del sistema anaerobio FAFA.

- No requiere energía eléctrica para su operar.
- Capacidad nominal de 100 m³/día, en caso de atender mayor caudal, su característica modular le permite atender mayores caudales en operación en paralelo de dos o más unidades.
- No requiere adición de químicos ni de bacterias.
- No utiliza equipos mecánicos/eléctrico para el proceso de depuración
- Baja producción de lodos.

Los componentes del sistema están fabricados de poliéster reforzado con fibra de vidrio PRFV

que es inerte ante químicos, gases y completamente anticorrosivo.

- La vida útil de los componentes y biofiltros puede alcanzar 20 años o más, operados adecuadamente.
- La eficiencia típica de este sistema es del 80% lo que requiere el cumplimiento de la normativa ambiental MARN.
- El sistema se reporta entre los de menor costo de operación y mantenimiento dentro de las tecnologías anaerobias y aerobias con un costo promedio mensual de Q800.00.

2. Descripción general del sistema de tratamiento de aguas residuales con filtro anaerobio de flujo ascendente FAFA

El filtro anaerobio constituye un sistema eficaz para el tratamiento anaerobio de las aguas residuales solubles. El sistema funciona sin electricidad. La planta corresponde a una combinación de decantación/digestión, con un filtro anaerobio de flujo ascensional de doble paso que usa como medio de soporte de crecimiento bioelementos plásticos, un sistema de pulimiento de olores mediante carbón activado y con desinfección posterior con hipoclorito. (MERCAGUA, 2018, p. 3)

3. Descripción del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales

El sistema de tratamiento de aguas residuales se describe a continuación.

Tabla 1. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales implementado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez

Etapas	Descripción		
Pretratamiento	Rejillas de gruesos y fino		
	Desarenador		
	Trampa grasa		
Tratamiento biológico	Etapas	Descripción	Cámaras
	Etapa 1	Decantación	1
	Etapa 2	Filtro anaerobio de flujo ascendente	2 y 3
	Etapa 3	Cámara de clarificación y Pulimiento de olor	4
Tratamiento terciario	Cámara de cloración		

Nota. Tabla basada en información del Manual de Operaciones del Sistema FAFA, MERCAGUA, 2018, p.11.

3.1 Descripción del tratamiento primario de las plantas de tratamiento de aguas residuales

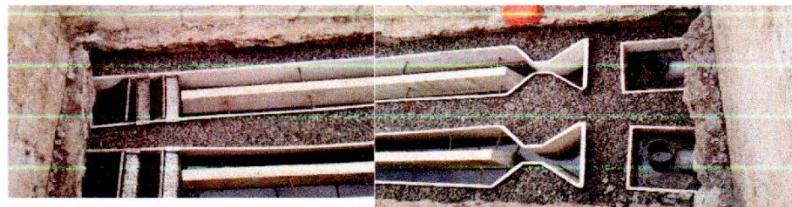
Las aguas residuales ingresan a la caja liberadora donde son distribuidas por una cortina (construida de block de concreto), para ser conducidas al tratamiento primario de cada planta, está compuesto por rejillas, desarenador y trampa de grasa, esta constituido con una longitud de tres metros.

Las rejillas son estructuras metálicas verticales de operación manual, las integran rejillas gruesas y finas, para la eliminación de sólidos suspendidos que pueden encontrarse en el sistema de alcantarillado.

La remoción de los sólidos retenidos en las rejillas gruesas y finas debe realizarse manualmente por un operador que cuente con equipo de protección, (guantes, botas y mascarilla). Los desechos deben ser dispuestos a una bolsa para su disposición final. Despues que el agua residual haya sido conducida por las rejillas gruesas y finas son dirigidas hacia el desarenador, es una estructura horizontal que por proceso físico de sedimentación se remueven partículas de elevada densidad.

Con la remoción de las partículas finas, ingresan a una estructura circular trampa de grasa, utilizada para la recolección de grasas o aceites provenientes del agua residual doméstica.

Figura 1. Diseño del pretratamiento de las PTAR ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.



Nota. Fotografías tomadas del pretratamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales A y B, ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez, 2022.

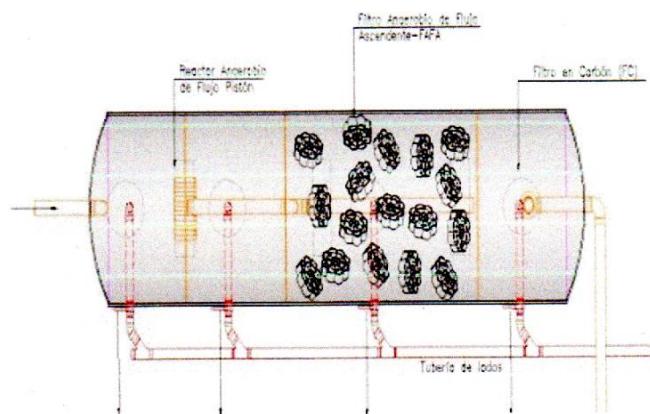
3.2 Descripción del tratamiento biológico de las plantas de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales son conducidas por una tubería que ingresa al sistema de tratamiento que está compuesto por tres etapas, decantación/digestión, filtro anaerobio de flujo ascendente de doble paso y clarificador.

La primera cámara de decantación/digestión tiene el objetivo de minimizar la cantidad de sólidos suspendidos y así evitar el taponamiento para la siguiente etapa, el filtro anaerobio de flujo ascendente, se encuentra lleno de un material sintético donde los microorganismos quedan adheridos con el objetivo de retener y eliminar la materia orgánica.

Las aguas residuales son enviadas a la cámara del clarificador en donde los lodos suspendidos provenientes de la fase anterior, terminan de separarse por gravedad. La cámara tiene instalada un filtro de carbón activado para la reducción de olor y color del afluente.

Figura 2. Figura del sistema de tratamiento de aguas residuales con filtro anaerobio de flujo ascendente.

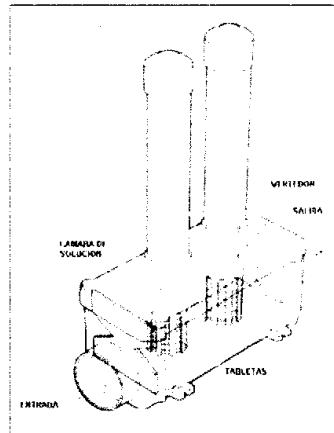


Nota. Sistema de gestión integral. Oficina territorial hevécicos.p. 6, 2021.
Santa Fe, Antioquia, Colombia.

3.3 Descripción del tratamiento terciario de las plantas de tratamiento de aguas residuales

Al culminar la fase del clarificador, las aguas residuales son conducidas por tuberías hacia la cámara de desinfección, donde el sistema culmina con la aplicación en pastillas de hipoclorito de sodio (NaClO), para finalmente verter el efluente al cuerpo receptor.

Figura 3. Ilustración de cámara de desinfección con tabletas de hipoclorito de sodio



Nota. Métodos de desinfección en PTAR. Pedro. E. Ortíz. 2013. Tegucigalpa, Honduras.

4. Mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales

Es el conjunto de actividades que garantizan el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de las aguas residuales.

Parte del mantenimiento incluye lo siguiente:

4.1 Operarios de la planta de tratamiento de aguas residuales

Se requiere de un operador permanente que ejecute las actividades de limpieza y mantenimiento de cada una de las etapas del sistema de tratamiento de aguas residuales, además, se requiere de un técnico encargado de supervisar el correcto funcionamiento del sistema. Se recomienda la asistencia de un profesional.

Además, se sugiere capacitar al operador y al técnico encargado de la planta de tratamiento en caso del cambio del personal.

4.2 Control de caudal del efluente

El sistema de tratamiento de aguas residuales no cuenta con la canaleta de Parshall para el monitoreo de caudales, por lo tanto se debe de llevar la bitácora de caudales en la salida del efluente.

Es importante resaltar que el monitoreo de caudales es imprescindible para el buen funcionamiento del sistema y de la plantas de tratamiento.

4.3 Equipo de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

Para el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento se debe de contar con los instrumentos necesarios para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de las aguas residuales.

4.4 Muestreos del afluente y efluente

Para garantizar el funcionamiento del sistema de tratamiento se debe de realizar el muestreo para los parámetros establecidos en el Reglamento para las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos.

4.5 Mantenimiento preventivo.

Lo integran acciones que debe realizarse con frecuencia para prevenir daños en el sistema de tratamiento que puedan ser de difícil reparación.

4.6 Mantenimiento correctivo

Consiste en las reparaciones del equipo o estructura de la planta de tratamiento que no se ha podido evitar en el mantenimiento preventivo.

4.7 Pretratamiento

La limpieza y mantenimiento de la etapa del pretratamiento es fundamental para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y para evitar daños en el sistema.

4.7.1 Rejillas

El canal de rejillas son estructuras metálicas verticales, tiene la función de remover los sólidos que puedan encontrarse en el sistema de alcantarillado.

- **Rejillas gruesas.** Tiene la función de retener los sólidos de mayor tamaño, requiere de una limpieza manual y constante para evitar la acumulación y obstrucción del agua residual.
- **Rejillas finas.** Tiene la función de retener los sólidos de menor tamaño, requiere de la remoción manual y constante para impedir la saturación y obstrucción del afluente.

- **Limpieza y mantenimiento de rejillas.** La limpieza de rejillas se debe realizar constantemente durante el día. El operador debe realizarla manualmente con la ayuda de un rastrillo colector que permita la remoción de los sólidos, éstos deben ser dispuestos en una cubeta para ser colocados en una bolsa plástica para su disposición final.

4.7.2 Desarenador

Tiene la función de remover sólidos inorgánicos pesados por medio de un proceso físico de sedimentación, requiere de una limpieza manual y periódica.

- **Limpieza y mantenimiento del desarenador.**

Se debe de remover de forma manual, con una frecuencia semanal o quincenal dependiendo del contenido de arena o grava en el afluente. Las partículas deben de ser recolectadas en una cubeta plástica.

4.7.3 Trampa grasa

Tiene la función de retener los aceites y grasas que se encuentran en la red de alcantarillado con un proceso físico de separación de densidades. La limpieza se debe desarrollar periódicamente de forma manual.

- **Limpieza y mantenimiento de trampa grasa.** Los aceites o grasas deben de removese con una pala de forma manual, con una frecuencia semanal o quincenal dependiendo del contenido del trampa grasa. Los desechos deben de ser recolectados en un balde y enviados para su disposición final.

4.7.4 Equipo requerido y la disposición final de los desechos.

Para la limpieza y mantenimiento del pretratamiento del sistema de tratamiento se utilizará, rastrillo colector, cubeta plástica y el equipo del operador, guantes, botas de hule, mascarillas.

Se recomienda que la disposición final de los desechos recolectados en la limpieza y del sistema de tratamiento de aguas residuales sea en un área adecuada, pero queda a criterio de la municipalidad.

4.7.5 Mantenimiento preventivo

Limpiar constantemente las unidades del pretratamiento que incluye las rejillas (gruesas y finas), desarenador y trampa grasa, para evitar la saturación de elementos contenidos en la red de alcantarillado que puedan perjudicar las plantas de tratamiento.

4.7.6. Mantenimiento correctivo

Usualmente las estructuras metálicas del pretratamiento como el canal de rejillas se oxidarán por lo tanto se deberá de utilizar pintura anticorrosiva, y si fuese necesario el cambio de rejilla.

Tabla 2. Sistema de mantenimiento en el pretratamiento de las PTAR ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez

Mantenimiento	Descripción	Equipo
Rejillas	Extraer manualmente los sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Botas plásticas • Mascarilla • Rastrillo • Pala • Balde
Desarenador	Extraer manualmente las arenas retenidas	
Trampa grasa	Remover manualmente las grasas y aceites	

Nota. Elaboración propia, 2022.

4.7.6 Tabla sobre problema operacional para el pretratamiento

La siguiente tabla contiene los principales problemas que puedan ocurrir en el pretratamiento, además, de contener la causa probable y la solución.

Tabla 3. Descripción operacional del tratamiento primario implementado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Problema operacional	Causa probable	Verificación	Solución
Olores o insectos en rejillas	Poca frecuencia de limpieza	Intervalos de limpieza	Incrementar frecuencia de limpieza
Decremento brusco en la cantidad de sólidos retenidos	Falla de retención en rejillas	Condición de rejillas	Reparación de rejillas
Incremento brusco en la cantidad de arena retenidos	Descarga pluvial en el sistema	Caudal afluente	Utilización de bypass
Decremento brusco en la cantidad de arena retenidos	Arrastre de agua en el sistema	Velocidad de flujo con trazador	Reducir velocidad
Mal olor en la arena retenida	Sedimentación de materia orgánica	Velocidad de flujo con trazador	Incrementar velocidad del agua
Arena retenida, mal olor, grasa	Sedimentación de materia orgánica	Velocidad de flujo con trazador	Incrementar velocidad del agua

Nota. Tabla basa en la información del Manual de Operaciones del Sistema FAFA, MERCAGUA, 2019, p. 12.

4.8 Tratamiento biológico

La limpieza y mantenimiento es primordial para garantizar la estabilidad del proceso biológico y la reducción de la materia orgánica.

4.8.1 Decantación/digestión

Es una cámara que recibe el afluente del pretratamiento y su función es separar los lodos u otros sólidos decantables o suspendidos por la fuerza de gravedad.

- **Limpieza y mantenimiento de la cámara de decantación.** El operador deberá de revisar la cámara mensualmente para observar la sedimentación de los lodos y evitar la saturación. Los lodos se retirará por medio de bomba de lodos con una frecuencia de cuatro o seis meses.

4.8.2 Filtro anaerobio de flujo ascendente de doble paso

Es un reactor biológico de doble paso, en la superficie cuenta con un lecho filtrante que sirve de soporte para el crecimiento biológico y degradación de la materia orgánica mediante una biopelícula en la que actúan los microorganismos facultativos y anaerobios.

- **Limpieza y mantenimiento del reactor FAFA.** El operador deberá de revisar diariamente las tuberías de la entrada al reactor para verificar que no se encuentre obstruida. De acuerdo al manual de operación del sistema de tratamiento, MERCAGUA 2018, “el reactor se purgará mediante una bomba especializada cuando se encuentre saturado, esto lo indicará la excesiva salida de lodos en el área de afluencia”, p. 13.

Sin embargo, se recomienda realizar la purga del reactor a cada seis u ocho meses, para evitar daños en el sistema de tratamiento.

4.8.3 Clarificador

Después que el afluente ingresa al reactor biológico se dirige a la cámara de clarificación, tiene la función de terminar de separar por gravedad los lodos suspendidos. Cuenta con un filtro de carbón activado para reducir el color y olor del afluente.

- **Limpieza y mantenimiento del clarificador**

El operador debe de supervisar la cámara periódicamente para verificar la acumulación de sedimentos, se deberá remover de 3 a 4 veces al mes. Evitar la saturación de lodos. El filtro de carbón activado deberá de ser sustituido anualmente.

4.8.4 Equipo requerido y la disposición final de los desechos

La municipalidad contratará el servicio para la purga de lodos provenientes de las cámaras. Se recomienda un digestor de baja carga para los lodos extraídos de las cámaras para su aprovechamiento.

4.8.5 Mantenimiento preventivo

Verificar que las tuberías que conducen a la planta de tratamientos no contengan materiales que impida la circulación del agua residual, además, el operador deberá de realizar periódicamente la supervisión del sistema de tratamiento.

4.8.6 Mantenimiento correctivo

El operador debe de verificar que las cámaras se encuentren funcionando adecuadamente, si una de ellas se encuentra saturada de líquido o de sólidos sedimentados, se deberá de suspender el ingreso del afluente y drenar el contenido. Si detecta algo inusual en la planta de tratamiento, informar al técnico y si fuese necesario contratar a un profesional para la supervisión del sistema de tratamiento.

Tabla 4. Sistema de mantenimiento en el reactor anaerobio de las PTAR ubicado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.

Sistema	Descripción	Frecuencia	Equipo
Reactor anaerobio de flujo ascendente.	Limpieza periódica de la cámara	Una vez por semana	<ul style="list-style-type: none"> • Cepillo de plástico de mango largo • Guantes • Botas plásticas
	Lavar la superficie del reactor	Una vez al mes	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Cepillo plástico de mango corto
	Cambiar el carbón activado	Una vez al año	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Botas plásticas
	Purga del reactor anaerobio	Una vez a cada seis u ocho meses	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba especializada para lodos.

Nota. Tabla basada en la información del Manual de Operaciones del Sistema FAFA, 2019.

4.9 Tratamiento terciario

Es la última etapa del tratamiento de aguas residuales por lo tanto, la limpieza y mantenimiento es esencial para la reintroducción del recurso hídrico a un cuerpo receptor.

4.9.1 Cámara de desinfección

La cámara recibe el afluente de la etapa anterior para su desinfección con pastillas de hipoclorito de sodio (NaClO), para ser vertidas al cuerpo receptor.

- **Limpieza y mantenimiento en la cámara de desinfección.** El operador deberá limpiar las paredes de la cámara de desinfección mensualmente y el clorador de pastillas a cada tres meses. Para la limpieza se utilizará cepillo de plástico de mango largo.

4.9.2 Tratamiento preventivo

Monitorear que la cámara contenga las pastillas de hipoclorito, además de llevar un inventario de ellas para asegurar su existencia cuando la cámara lo requiera.

4.9.3 Tratamiento correctivo

Verificar que el clorador de pastillas se encuentre en óptimo funcionamiento, si fuera necesario se deberá de realizar el cambio de un nuevo clorador.

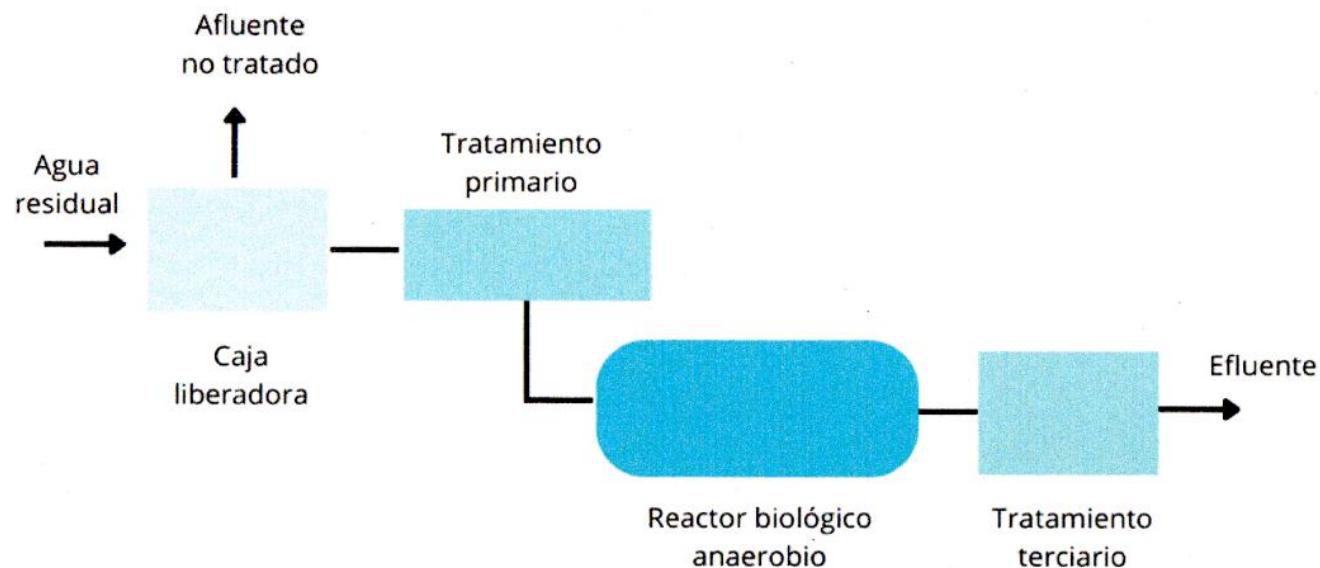
Tabla 5. Sistema de mantenimiento del tratamiento terciario implementado en las PTAR ubicadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez

Sistema	Descripción	Frecuencia
Cámara de clarificación	Limpieza del clorador de pastillas	Una vez a cada tres meses
	Verificar que las unidades operen normalmente	Una vez a cada tres meses
	Verificar el inventario de pastillas de hipoclorito	Una vez a cada tres meses

Nota. Tabla basada en la información del Manual de Operaciones del Sistema FAFA, 2019.

Diagrama de flujo del sistema de tratamiento anaerobio FAFA

Figura 4. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales instalado en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez.



Nota. Diagrama basado con la información del Manual de Operaciones de Sistema FAFA, 2019.

5. Manejo de lodos provenientes de las plantas de tratamiento con sistema FAFA

Para el manejo de lodos proveniente de las plantas de tratamiento anaerobias se propone realizarlo con el sistema de estabilización con la técnica de digestión anaerobia de carga baja.

El Reglamento de las Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos (2006) menciona, “son sólidos con un alto contenido variable de humedad proveniente del tratamiento de aguas residuales”. (p. 4).

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, MITECO (s.f.) menciona que “los lodos de desecho son materiales orgánicos, ricos en nutrientes, que resultan del tratamiento de las aguas residuales”. (párr. 3)

Los lodos se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable y depende de la carga de contaminación del agua residual inicial y de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo en las aguas residuales. Los tratamientos del agua concentran la contaminación presente en el agua, y por tanto, los lodos contienen amplia diversidad de materias suspendidas o disueltas. (Boris, 2020, párr. 5)

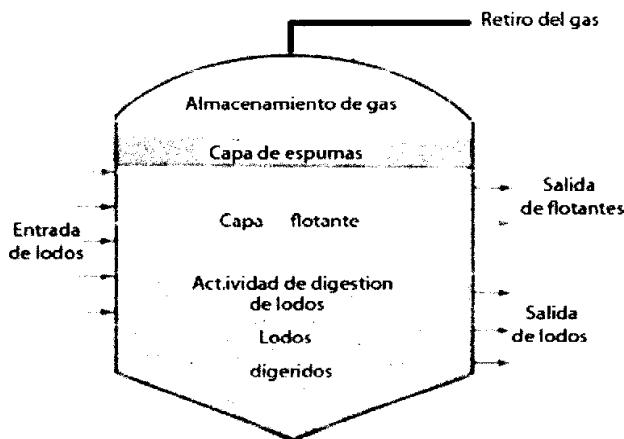
5.1 Digestión anaerobia

Es un proceso biológico que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el que parte de la materia orgánica de los residuos orgánicos se transforma, mediante la acción de los microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido principalmente por metano y dióxido de carbono y otros gases en pequeñas cantidades (amoníaco, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, entre otros). (Agencia de residuos de Catalunya, s.f, párr. 1)

5.2 Proceso de digestión anaerobia de bajo carga

En el proceso de digestión de baja carga, no se suelen calentar ni mezclar el contenido del digestor. El proceso se lleva a cabo completamente cerrado. Los lodos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen dentro de estos tanques durante períodos de tiempo de retención considerables entre 30 a 60 días. El lodo estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica y de microorganismos patógenos vivos. (Rojo, s.f, 2005, p. 4)

Figura 5. Ilustración de un digestor anaerobio de baja carga



Nota. Metcalf y Eddy, 1991.

5.3 Secado de lodos

Los lodos extraídos del biodigestor deben de ser desinfectados. Como lo indica López (2019), “mezclar con cal para desinfectar al 10% (1 kg de cal por 10 kg de lodo). Después espolvorear con cal para evitar moscas”. (párr. 10)

Los lodos deben de ser colocados en una superficie plana después de ser desinfectados, y dejar secar de uno a tres meses para su posterior uso.

5.4 Mantenimiento del digestor anaerobio.

El tanque debe ser purgado anualmente, y verificar constantemente las tuberías de ingreso y salida de lodos para evitar que éstas se obstruyan. El operador deberá de utilizar equipo de protección para evitar el contacto directo con los lodos, al contener alto contenido de microorganismos.

5.5 Disposición final de los lodos

La disposición final de los lodos queda a disposición de la municipalidad. Sin embargo, el reúso de lodos debe cumplir con los parámetros establecidos por el Reglamento para la Descargas y Reúso de las Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, descritos en el capítulo XIII.

6. Recomendaciones

- La capacidad nominal de las plantas de tratamiento FAFA es 100 m³/día, aunque el manual de operaciones hace mención que permite atender mayores caudales en paralelo a dos o más unidades, no indica cual sería el caudal máximo por lo que se recomienda que a las plantas de tratamiento no le ingrese caudales mayores a 150 m³/día para evitar el colapso de las plantas y para garantizar su buen funcionamiento.
- Las plantas de tratamiento no cuentan con la canaleta de Parshall utilizada para medir caudales, se recomienda llevar la bitácora de caudales en la salida del afluente.
- Capacitar al técnico y operador encargados del funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales lo que permitirá mejorar el mantenimiento del sistema.
- Implementar las acciones descritas en el manual de mantenimiento del sistema anaerobio para asegurar el funcionamiento eficiente.

7. Referencias

- Agencia de residuos de Catalunya, Barcelona, España. (s.f.). *Digestión anaerobia*. https://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/tractament_biologic/digestio_anaerobia/#:~:text=La%20digesti%C3%B3%20anaer%C3%A9tica%20tambi%C3%A9n%20llamada,constituido%20principalmente%20por%20metano%20
- Boris, T. (2020). *Ingeniería ambiental*. <https://ingenieriaambiental.net/tratamiento-de-lodos/>
- López, J. (junio de 2019). *Mantenimiento y precauciones del biodigestor*. Distribuidor Nacional Jalisco. <https://www.distribuidornacional.com/mantenimiento-y-precauciones-del-biodigestor-rotoplas/>
- Mercadeo del Agua. MERCAGUA. (2019). *Manual de operaciones y de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA*.
- Metcalf y Eddy, (1991). *Digestor anaerobio de baja carga*. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo8.pdf
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. MARN. (2006). *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y la disposición de lodos [Acuerdo Gubernativo 236-2006]*. <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. MITECO. (s.f.). *Lodos de depuración de las aguas residuales*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/fluxos/lodos-depuradora/#:~:text=Con%20car%C3%A1cter%20general%20los%20lodos,La%20estabilizaci%C3%B3n%20aerobia>
- Ortíz, P. (2013). *Métodos de desinfección en plantas de tratamiento de aguas residuales*. <https://drive.google.com/file/d/1H57dE7DmOXhtwi5rfJOkFmPG3fO6JAag/view?usp=sharing>
- Rojo, P. M. (2005). *Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento*. [Tesis de grado, Ingeniería Química, Departamento de

Ingeniería Química y Alimentos, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla.].http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/capitulo_5.html

Sistema de gestión integral. (2021). *Reactor biológico FAFA*. Oficina territorial hevécicos. Santa Fe, Antioquia, Colombia. ZDre6VBca2MWhuHD2Pl

Figura. 10. Manual de Operaciones del Sistema FAFA de Aguas Residuales.



**SISTEMA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.
FILTRO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE
(FAFA) DE DOBLE PASO.**



POR UN MUNDO MÁS LIMPIO
PTAR PREFABRICADA EN POLIESTER
REFORZADO EN FIBRA DE VIDRIO (PRFV)

Guatemala, septiembre 2019

Website: www.mercagua.com E-mail: mercaguaprefabricadas@gmail.com

Tabla. 17. Composición del agua residual doméstica**CARACTERIZACION DE ENTRADA AL SISTEMA**

El Diseño del sistema de Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA) en Doble Paso, está diseñado para tratar aguas residuales de origen doméstico, con caracterización típica de Latinoamérica reportada por reconocidos autores.

Que a continuación se detallan;

TABLA 1. Composición típica del agua residual doméstica. (Metcalf & Eddy, 1995)

Parámetro	Unidades	Concentración		
		Fuerte	Media	Débil
Sólidos Totales	mg/L	1200	720	350
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	850	500	250
Sólidos Disueltos Fijos	mg/L	525	300	145
Sólidos Disueltos Volátiles	mg/L	325	200	105
Sólidos Suspendidos	mg/L	350	220	100
Sólidos Suspendidos Fijos	mg/L	75	55	20
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	275	165	80
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	10	5
DBO	mg/L	400	220	110
COT	mg/L	290	160	80
DQO	mg/L	1000	500	250
Nitrógeno Total	mg/L	85	40	20
Nitrógeno Orgánico	mg/L	35	15	8
Nitrógeno Ammoniacal	mg/L	50	25	12
Nitritos	mg/L	0	0	0
Nitratos	mg/L	0	0	0
Fósforo Total	mg/L	15	8	4
Fósforo Orgánico	mg/L	5	3	1
Fósforo inorgánico	mg/L	10	5	3
Cloruros	mg/L	100	50	30
Sulfatos	mg/L	50	30	20
Alcalinidad	mgCaCO	200	100	50
Aceites y Grasas	mg/L	150	100	50
Coliformes Totales	NMP/100ml	10^7 a 10^9	10^7 a 10^8	10^6 a 10^7
COV	µg/L	> 400	100 a 400	< 100



Tabla. 18. Caracterización de salida del agua residual doméstica del sistema.



CARACTERIZACION DE SALIDA DEL SISTEMA (BOUNDS 1997):

Constituyente	Concentración, esperada con Biofiltración de Alta Tasa MG/L
PH	7.1
DBO5	<100
DQO	<160
SST	<20
NKT como N	<20
P total como P	<9
Grasas y Aceites	<10
Material Flotante	Ausente
Temperatura	25°C
Coliformes Fecales ^(NMP/100ml)	<10 ^a

La Caracterización cumple con la Normativa de Acuerdo 236-2006 del MARN.



Tabla. 19. Especificaciones técnicas del sistema.**ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL SISTEMA**

CARACTERISTICAS Y CUALIDADES DEL PRFV (POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO)	
Alta resistencia química ante los agentes corrosivos. En este sentido se convierte en un elemento de construcción ideal para plantas de depuración, debido a la fuerte capacidad corrosiva de las aguas residuales.	Alta resistencia mecánica. Los tanques prefabricados en PRFV pueden ser enterrados a una profundidad de hasta dos metros y medio.
Material ligero. Se facilita enormemente la tarea de instalación gracias a la manejabilidad de los tanques.	Perdurabilidad. La resistencia química y su inalterabilidad hacen que una instalación fabricada con estos materiales dure para siempre.
Material Isotermo. El PRFV es un material térmicamente aislante. Las bacterias que realizan los procesos de depuración biológica, son sensibles a los cambios bruscos de temperatura, lo que evita el tanque de PRFV.	Flexibilidad. El PRFV es un material flexible a la hora de trabajarla, por lo que permite la realización de múltiples formas y diseños, pudiéndose adaptar a muchas exigencias. Material Estanco. Hay garantía de una completa estanqueidad

CARACTERÍSTICAS	NORMAS ASTM	VALORES
Peso específico (g/cm ³) a 23º C	D-792	1,8
Resistencia tracción, Kg/cm ²	D-638	630
Resistencia flexión Kg/cm ² a 25ºC	D-790	1.300
Resistencia flexión Kg/cm ² a 130ºC	750	
Resistencia compresión, Kg/cm ²	D-965	2.100
Impacto Izod. cm. Kg/cm ² con entalla	D-256	42,8
Absorción de agua 24 h %	D-570	0,6
Resistencia dieléctrica, perpendicular volts./0,025 mm	D-257	400



Anexo 7. Tabla de crecimiento poblacional para el año 2042.

Tabla. 20. Tasa de crecimiento poblacional 2022-2042.

No.	Año	Tasa de crecimiento	Población
0	2022	-----	3396
1	2023	1.1%	3433
2	2024	1.1%	3471
3	2025	1.1%	3509
4	2026	1.1%	3548
5	2027	1.1%	3587
6	2028	1.1%	3626
7	2029	1.1%	3667
8	2030	1.1%	3707
9	2031	0.8%	3737
10	2032	0.8%	3767
11	2033	0.8%	3797
12	2034	0.8%	3827
13	2035	0.8%	3858
14	2036	0.8%	3889
15	2037	0.8%	3920
16	2038	0.8%	3951
17	2039	0.8%	3983
18	2040	0.8%	4015
19	2041	0.6%	4039
20	2042	0.6%	4064

Nota. Elaboración propia, 2022.

Anexo. 8. Resultados del parámetro de DBO



Dirección: 1era. Avenida 0-20, zona 2
Colonia "Los Almendros"
Mazatenango, Suchitepéquez
e-mail: labaguascunsuroc@gmail.com

No. certificado: 001-2022R

Informe de Resultados de Análisis DBO

-DATOS DEL CLIENTE-

Cliente: Municipalidad de San Lorenzo, Suchitepéquez.

Responsable: Elena Daniela Orizábal García

Dirección: Cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez

-DATOS DE LA MUESTRA-

Lugar de muestreo: Descarga de Planta de Tratamiento "1" Muestra Simple o compuesta: Simple

Responsable de Muestreo: Samuel García

Fecha de Muestreo: 04-06-2022

Temperatura de Almacenaje: 5 °C

Hora de muestreo: 9:25 a.m.

Tipo de muestra: Agua residual ordinaria

Código de muestra: 1 M

Recipientes utilizados: Plástico (provistos por el laboratorio de Aguas IGAL-CUNSUROC)

Método de preservación: -----

-DATOS DE LABORATORIO-

Fecha de recepción de la muestra en el laboratorio: 04-06-2022

Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:00 a.m.

Fecha de inicio de análisis: 05-06-2022 Hora de inicio de análisis: 08:00 a.m.

Analista: Samuel García Zep

Fecha de informe: 13-06-2022

PARÁMETRO	DIMENSIONAL ⁽¹⁾	LIMITE DE DETENCIÓN	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L - O ₂	10	< 10

(1) mg/L = miligramos por litro

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada, recibida y analizada en las fechas indicadas.


Laboratorio de Aguas IGAL/CUNSUROC

Ms. Karen Pérez Cifuentes
Oficina Farmacéutica
Coligada No 2473



Dirección: 1era. Avenida 0-20, zona 2
Colonia "Los Almendros"
Mazatenango, Suchitepéquez
e-mail: labaguascunsuroc@gmail.com

No. certificado: 002-2022R

Informe de Resultados de Análisis DBO

-DATOS DEL CLIENTE-

Cliente: Municipalidad de San Lorenzo, Suchitepéquez.

Responsable: Elena Daniela Orizábal García

Dirección: Cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez

-DATOS DE LA MUESTRA-

Lugar de muestreo: Descarga de Planta de Tratamiento "2" **Muestra Simple o compuesta:** Simple

Responsable de Muestreo: Samuel García

Fecha de Muestreo: 04-06-2022

Temperatura de Almacenaje: 5 °C

Hora de muestreo: 9:28 a.m.

Tipo de muestra: Agua residual ordinaria

Código de muestra: 2 M

Recipientes utilizados: Plástico (provistos por el laboratorio de Aguas IGAL-CUNSUROC)

Método de preservación: ----

-DATOS DE LABORATORIO-

Fecha de recepción de la muestra en el laboratorio: 04-06-2022

Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:00 a.m.

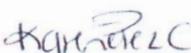
Fecha de inicio de análisis: 05-06-2022 **Hora de inicio de análisis:** 08:00 a.m.

Analista: Samuel García Zep **Fecha de informe:** 13-06-2022

PARÁMETRO	DIMENSIONAL ⁽¹⁾	LIMITE DE DETENCIÓN	RESULTADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L – O ₂	10	< 10

(1) mg/L = miligramos por litro

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada, recibida y analizada en las fechas indicadas.


Karen Pérez Cifuentes

Laboratorio de Aguas IGAL/CUNSUROC

Ma Karen Rebeca Pérez Cifuentes.
Cédula Farmacéutica
Cédula No 2473

Mazatenango, 9 de agosto 2023

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
Centro Universitario de Suroccidente

De la manera más atenta, me dirijo a usted para presentarle el informe final de Investigación Inferencial titulado: "Evaluación del manejo de aguas residuales tratadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez", realizado por la estudiante Elena Daniela Orizábal García, carné: 201240661 y Documento de Identificación Personal, CUI 2267789401001, dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local -EPSIGAL-.

Por lo tanto, en mi calidad de supervisora de Ejercicio Profesional Supervisado, solicito que de acuerdo con el artículo seis, inciso 6.4 del Normativo de Trabajo de Graduación; pueda darse el trámite correspondiente para poder ser considerado como Trabajo de Graduación, para la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local

Sin otro particular:



Inga. Iris Yvonne Cárdenas Sagastume
Supervisora de Ejercicio Profesional Supervisado
Docente IGAL - CUNSUROC

Mazatenango, 30 de mayo del 2024

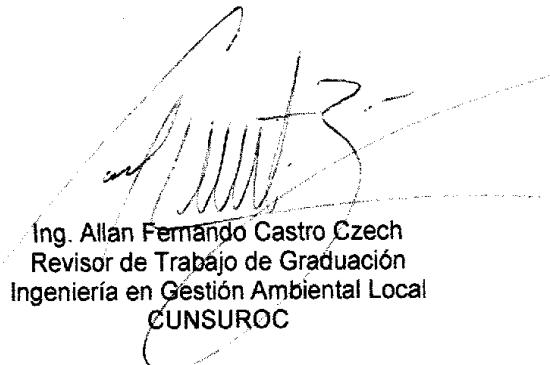
MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC

Apreciable Maestra

Respetuosamente me dirijo a usted, para informarle que de acuerdo con el Artículo 9 del Normativo de **TRABAJO DE GRADUACIÓN** de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, he realizado la revisión y observaciones de la investigación titulada **“Evaluación del manejo de aguas residuales tratadas en cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez”** presentado por la estudiante Elena Daniela Orizábal García, quien se identifica con CUI 2267 78940 1001 y número de carné 201240661.

Por lo tanto, en mi calidad de revisor le informo, que después de realizar el proceso que me fue asignado y verificar la incorporación de las observaciones por parte de la estudiante a la investigación, procedo a dar **VISTO BUENO** al documento para que se continúe con el proceso de mérito.

Atentamente



Ing. Allan Fernando Castro Czech
Revisor de Trabajo de Graduación
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC

Mazatenango 12 de septiembre, 2025

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Director
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Señor Director:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirle el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado "**Evaluación del Manejo de Aguas Residuales Tratadas en Cantón Cerrito, San Lorenzo, Suchitepéquez**" de la estudiante **Elena Daniela Orzábal García** carné 201240661, de la Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por el revisor del informe, el cual fue corregido de acuerdo a las recomendaciones indicadas.

Por lo tanto, en mi calidad de Coordinadora de la Carrera, me permito solicitarle el **IMPRÍMASE** respectivo para que el estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular.

Karen Perez
MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora de Carrera
Ingeniería en Gestión Ambiental Local
CUNSUROC





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I- 128-2025

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, el veintisiete de octubre de dos mil veinticinco

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del Asesor y Revisor, se autoriza la impresión del Trabajo de Graduación Titulado: **“EVALUACIÓN DEL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN CANTÓN CERRITO, SAN LORENZO, SUCHITEPÉQUEZ”** de la estudiante: **Elena Daniela Orizabal García**, Carné: **201240661**. CUI: **2267 78940 1001** de la Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Director



/gris