



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

**ANÁLISIS DE PUNTOS DE DESCARGA Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ZUNILITO, SUCHITEPÉQUEZ**

Evelyn Mariana López Pérez

Asesorado por el Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE PUNTOS DE DESCARGA Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ZUNILITO, SUCHITEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EVELYN MARIANA LÓPEZ PÉREZ

ASESORADO POR EL DR. ING. DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ANÁLISIS DE PUNTOS DE DESCARGA Y PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE ZUNILITO, SUCHITEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 14 de mayo de 2020.

Evelyn Mariana López Pérez

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por iluminar mi vida y mi carrera profesional.
Universidad San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad y privilegio de formarme como profesional.
Mis padres	Oscar López y Evelin de López, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir.
Mis hermanas	Aranza y Ariana López, por ser parte importante de mi vida, por llenarla de alegría y amor.
Mi familia	Por su afecto sincero.
Mis amigos	Por acompañarme en este largo camino y por compartir buenos momentos, en especial a: Fredy Ramírez, Luis Ramírez y Marlen Guevara.
Dr. Ing. Dennis Argueta	Por haber compartido conmigo sus conocimientos profesionales, su gran apoyo y amistad.
Municipalidad de Zunilito	Por brindarme el apoyo y permitirme realizar este trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL MUNICIPIO DE ZUNILITO, SUCHITEPÉQUEZ.....	1
1.1. Localización y extensión territorial	1
1.2. Colindancias	2
1.3. Suelo y topografía del municipio de Zunilito, Suchitepéquez.....	3
1.4. Clima del municipio de Zunilito, Suchitepéquez	3
1.5. Hidrografía.....	4
1.6. Monografía del lugar.....	4
1.6.1. Población	5
1.6.2. Crecimiento poblacional	5
1.6.3. Aspectos culturales e idiomas	6
1.7. Servicios con los que cuenta el municipio	7
1.7.1. Agua y saneamiento	8
1.7.2. Desechos sólidos.....	9
1.7.3. Energía eléctrica	9
1.8. Educación.....	10
1.9. Condiciones de vivienda.....	11

1.10.	Vías de comunicación	12
2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	13
2.1.	Características físicas del agua residual	13
2.1.1.	Turbiedad	13
2.1.2.	Color.....	14
2.1.3.	Olor y sabor.....	14
2.1.4.	Temperatura.....	15
2.1.5.	Sólidos.....	16
2.1.5.1.	Sólidos totales	17
2.1.5.2.	Sólidos disueltos	17
2.1.5.3.	Sólidos suspendidos	18
2.1.5.4.	Sólidos volátiles y sólidos fijos	18
2.1.5.5.	Sólidos sedimentables	18
2.2.	Características químicas del agua residual.....	19
2.2.1.	Conductividad.....	19
2.2.2.	Acidez.....	20
2.2.3.	Dureza.....	21
2.2.4.	pH.....	21
2.2.5.	Fluoruros	22
2.2.6.	Hierro y manganeso	23
2.2.7.	Sílice	24
2.2.8.	Fosforo	24
2.2.9.	Oxígeno disuelto	25
2.2.10.	Sodio	25
2.2.11.	Potasio	26
2.2.12.	Grasas y aceites.....	27
2.3.	Características bacteriológicas del agua residual.	28

2.3.1.	Microrganismos	28
2.3.1.1.	Bacterias.....	29
2.3.1.2.	Hongos	29
2.3.1.3.	Algas.....	30
2.3.1.4.	Plantas y animales.....	31
2.3.1.5.	Virus	32
2.3.2.	Organismos patógenos.....	33
3.	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS	35
3.1.	Tecnologías de tratamiento de Aguas Residuales Ordinarias	35
3.1.1.	Tecnología anaerobia	35
3.1.1.1.	Sedimentadores o fosas sépticas	35
3.1.1.2.	Tanques Imhoff.....	37
3.1.1.3.	Reactores UASB.....	38
3.2.	Tecnología aerobia.....	39
3.2.1.	Filtros percoladores	40
3.2.2.	Reactor biológico de membrana	41
3.2.3.	Reactor biológico secuencial	42
3.2.4.	Lodos activados.....	43
3.2.5.	Aireación extendida	44
4.	RESULTADOS	47
4.1.	Localización y ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales	47
4.2.	Descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes	48
4.2.1.	Descripción PTAR No. 1 de aldea San Antonio.....	48

	4.2.1.1.	Pretratamiento.....	49
	4.2.1.2.	Tratamiento primario	49
	4.2.1.3.	Tratamiento secundario.....	49
	4.2.1.4.	Tratamiento terciario	50
4.2.2.		Descripción PTAR No. 2 de aldea Mi Tierra.....	51
	4.2.2.1.	Pretratamiento.....	52
	4.2.2.2.	Tratamiento primario	52
	4.2.2.3.	Tratamiento secundario.....	52
	4.2.2.4.	Tratamiento terciario	53
	4.2.2.5.	Tratamiento complementario.....	53
	4.2.2.6.	Patio de secado de lodos	53
4.2.3.		Descripción PTAR No. 3 de aldea San Lorencito	55
	4.2.3.1.	Pretratamiento.....	56
	4.2.3.2.	Tratamiento primario	57
	4.2.3.3.	Tratamiento secundario.....	57
	4.2.3.4.	Tratamiento terciario	57
	4.2.3.5.	Tratamiento complementario.....	58
	4.2.3.6.	Patio de secado de lodos	58
4.2.4.		Descripción PTAR No. 4 de aldea Chitá.....	60
	4.2.4.1.	Pretratamiento.....	61
	4.2.4.2.	Tratamiento primario	61
	4.2.4.3.	Tratamiento secundario.....	61
	4.2.4.4.	Tratamiento terciario	62
	4.2.4.5.	Tratamiento complementario.....	62
	4.2.4.6.	Patio de secado de lodos	63
4.2.5.		Descripción PTAR No. 5 de aldea Mi Tierra – Sector rastro municipal.....	64
	4.2.5.1.	Pretratamiento.....	65
	4.2.5.2.	Tratamiento primario	66

4.2.5.3.	Tratamiento secundario	66
4.2.5.4.	Tratamiento terciario	66
4.2.5.5.	Tratamiento complementario	67
4.2.5.6.	Patio de secado de lodos	67
4.3.	Localización y ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales	68
4.4.	Descripción de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar.....	71
4.5.	Identificación de cuerpos receptores	76
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
5.1.	Inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales	77
5.2.	Resumen de Inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas por tipo de proceso.....	78
5.3.	Inventario de los puntos de descarga de aguas residuales	80
5.4.	Resultados de la producción de caudales de las aguas residuales por cada ente generador	82
5.5.	Cumplimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y puntos de descarga existentes en comparación con el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos	83
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91
	APENDICES	93
	ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación y delimitación del municipio de Zunilito	2
2.	Sedimentador de flujo vertical	36
3.	Estructura básica del tanque Imhoff	38
4.	Reactor UASB.....	39
5.	Filtro percolador	41
6.	Reactor biológico de membrana	42
7.	Reactor biológico secuencial.....	43
8.	Esquema general del proceso de lodos activados	44
9.	Proceso convencional de aireación prolongada	45
10.	Localización de plantas de tratamiento de aguas residuales	47
11.	PTAR No. 1 aldea San Antonio	50
12.	PTAR No. 2 de aldea Mi Tierra	51
13.	Componentes de la planta de tratamiento.....	54
14.	Componentes de la planta de tratamiento.....	55
15.	PTAR No. 3 de aldea San Lorencito	56
16.	Componentes de la planta de tratamiento.....	59
17.	Componentes de la planta de tratamiento.....	59
18.	PTAR No.4 de aldea Chitá	60
19.	Componentes de la planta de tratamiento.....	63
20.	Componentes de la planta de tratamiento.....	64
21.	PTAR aldea Mi Tierra - Sector rastro municipal	65
22.	Componentes de la PTAR.....	68
23.	Localización de los puntos de descarga de aguas residuales.....	69

24.	Acercamiento parte superior de localización de puntos de descargas de aguas residuales.....	69
25.	Acercamiento parte intermedia de localización de puntos de descargas de aguas residuales	70
26.	Acercamiento de parte inferior de localización de puntos de descarga de aguas residuales.....	70
27.	Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea San Lorencito	74
28.	Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea Mi Tierra	75
29.	Identificación de cuerpos receptores de aguas residuales	76
30.	Plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas.....	78
31.	Clasificación de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas por tipo de proceso	80
32.	Puntos de descarga de aguas residuales en el municipio de Zunilito...	82
33.	Estudios técnicos realizados de acuerdo al acuerdo gubernativos 236-2006.....	85

TABLAS

I.	Ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales	48
II.	Ubicación y localización de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar.....	71
III.	Descripción de puntos de descarga de aguas residuales sin tratar	72
IV.	Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	77
V.	Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales por tipo de proceso	79
VI.	Inventario de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar ...	81
VII.	Caudales de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento.....	83

VIII.	Resumen de acuerdo con el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	84
-------	---	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Caudal
°C	Grados Celsius
Hab	Habitantes
Km	Kilometro
Lps	Litros por segundo
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cubico
m	Metro
mm	Milímetro
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
pH	Potencial de hidrogeno
%	Porcentaje
t	Tiempo

GLOSARIO

Aerobias	Que necesita respirar oxígeno para vivir o desarrollarse.
Aguas residuales	También aguas servidas son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.
Alcantarillado	Se denomina al sistema de estructuras y tuberías usadas para la evacuación de aguas, estas aguas pueden ser residuales (alcantarillado sanitario), o aguas de lluvia (alcantarillado pluvial), desde el lugar en que se generan hasta el sitio en que se disponen o tratan.
Anaerobia	Que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.
Caudal	Volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.
Cuerpo receptor	Embalse natural, lago, río, quebrada, manantial, estuario, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas donde se descargan aguas residuales.

DBO	Demanda bioquímica de oxígeno. Medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.
DQO	Demanda química de oxígeno. Medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
Descarga	Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la nación.
Muestra	Parte o cantidad pequeña de una cosa que se considera representativa del total y que se toma o se separa de ella con ciertos métodos para someterla a estudio, análisis o experimentación.
Parámetro	La variable que identifica una característica de las aguas residuales, aguas para reúso o lodos, asignándole un valor numérico.
Planta de tratamiento	Conjunto de unidades y de procesos para tratar las aguas residuales.

Reúso	Efecto de reusar.
Saneamiento	Es el proceso y el resultado de sanear.
Sedimentar	Consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca brindar información de la cobertura de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales de tipo ordinaria de administración pública y privada del municipio de Zunilito del departamento de Suchitepéquez, además de brindar información respecto a lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de Las Descargas y Reúso De Aguas Residuales y De la Disposición De Lodos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

La protección y mejoramiento del medio ambiente y los recursos naturales y culturales es fundamental para el logro de un desarrollo social y económico del país, de manera sostenida, por lo tanto, la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente según decreto 68-86 y el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de Las Descargas y Reúso De Aguas Residuales y De la Disposición De Lodos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales obliga a las municipalidades a que todo ente generador de aguas residuales cumpla con los parámetros y sus límites máximos permisibles para no causar impactos en los cuerpos de agua en el medio ambiente (CONAMA).

Determinando el número y la descripción de la totalidad de sistemas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas por medio de visitas de campo y recolección de datos cuantitativos y cualitativos se pudieron determinar que cuentan con una totalidad de cinco sistemas de tratamiento de aguas residuales, las cuales son todas de administración pública. Cada uno de los sistemas de tratamiento de aguas residuales descargan las aguas residuales de

tipo ordinaria ya tratadas en cuerpos de agua, los cuales se lograron identificar y localizar por medio de visitas de campo y equipo de GPS.

Se identificaron y localizaron un total de quince descargas de aguas residuales que no reciben ningún tipo de tratamiento previo en el municipio de Zunilito, Suchitepéquez, además de determinar el cumplimiento de los análisis de laboratorio existentes con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento De Las Descargas y Reúso De Aguas Residuales.

A través de la investigación se pudo llegar a una de las conclusiones más importantes, es que no existe información técnica actualizada sobre las descargas de aguas residuales y estas provocan contaminación ambiental debido a la disposición de aguas servidas sin un control de tratamiento adecuado.

OBJETIVOS

General

Identificar los puntos de descarga y plantas de tratamiento de agua residual públicas y privadas del municipio de Zunilito, Suchitepéquez.

Específicos

1. Determinar el número de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas existentes en el municipio de Zunilito, Suchitepéquez, describiendo las unidades de tratamiento y midiendo sus caudales.
2. Identificar los puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento en el municipio de Zunilito, Suchitepéquez, midiendo su caudal.
3. Identificar los cuerpos receptores de cada sistema de tratamiento de aguas residuales y de las descargas sin tratamiento previo.
4. Comparar los sistemas de aguas residuales y los análisis de laboratorio existentes con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento De Las Descargas y Reúso De Aguas Residuales y De La Disposición De Lodos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

INTRODUCCIÓN

Según la Unidad de Gestión Ambiental Municipal del municipio de Zunilito, Suchitepéquez indica que no existe información técnica actualizada sobre las descargas de aguas residuales y estas provocan contaminación ambiental debido a la disposición de aguas servidas sin un control de tratamiento adecuado.

En el desarrollo del primer capítulo del presente trabajo de investigación se presenta la información existente de diferentes medios escritos de la monografía del municipio de Zunilito, Suchitepéquez, con el fin de establecer y conocer las características del municipio, en el segundo capítulo se muestra detalladamente la información recolectada, sobre las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales para poder interpretar y analizar los datos de esta investigación, de igual manera en el tercer capítulo se muestra detalladamente la información recolectada sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales ordinarias, como las tecnologías de tratamiento aerobias y anaerobias, en el cuarto capítulo se desarrollan los resultados obtenidos de la investigación de campo, también el análisis del cumplimiento de acuerdo con las leyes de aguas residuales de los puntos de descarga y plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio, se realizó un listado de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinaria del municipio, para determinar el porcentaje de sistemas de tratamiento de administración pública y privada, y las características de cada una; desarrollándose así la discusión de resultados en el quinto capítulo.

Según los resultados obtenidos de esta investigación se pudo determinar la cantidad de sistemas de tratamiento actualmente construidos, su estado de funcionamiento y clasificación, describiendo las unidades de tratamiento, así

también se logró identificar los puntos de descarga de aguas residuales que no reciben un tratamiento adecuado y hacia donde vierten sus aguas.

El tema ambiental es considerado de suma importancia por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, ante lo cual esta investigación se convierte en una herramienta generadora de información y así las autoridades puedan tomar en cuenta las recomendaciones proporcionadas.

1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL MUNICIPIO DE ZUNILITO, SUCHITEPÉQUEZ

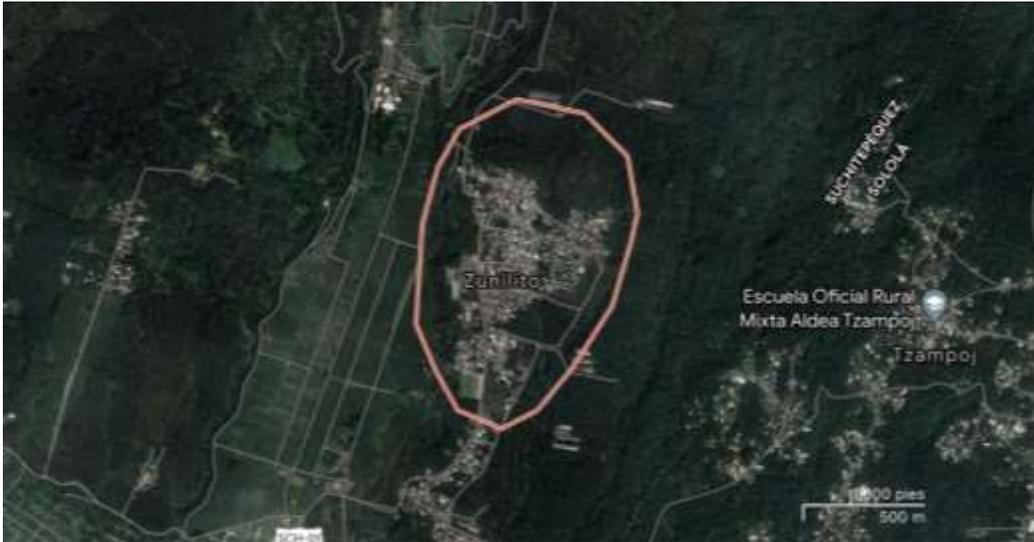
En este capítulo se presenta la monografía del municipio de Zunilito, de acuerdo con la información existente de diferentes medios escritos de la municipalidad de Zunilito, Suchitepéquez, con el fin de establecer y conocer las características del municipio.

1.1. Localización y extensión territorial

El municipio de Zunilito se localiza en la región sur occidental y ubicado en el departamento de Suchitepéquez a una altura de 790 metros sobre el nivel del mar y a una distancia de la cabecera departamental de Mazatenango de 12 km y de la ciudad capital de Guatemala de 172 kilómetros. Las coordenadas geográficas del centro del casco urbano son a una latitud de 14°36'44" y una longitud de 91°30'35 y su extensión territorial es de 52 km.¹

¹ Segeplan. *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 9.

Figura 1. **Ubicación y delimitación del municipio de Zunilito**



Fuente: Google Maps. *Municipio de Zunilito*.

<https://www.google.com/maps/place/Zunilito/@14.6123014,-91.5134095,16z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x858ec03232229ab3:0x8edebcec08f13c5d!8m2!3d14.6116607!4d-91.50997052021>. Consulta: junio de 2020.

1.2. Colindancias

Limita al norte con Zunil, Quetzaltenango; al este con Samayac Suchitepéquez; al sur con San Francisco Zapotitlán Suchitepéquez; al oeste con San Francisco Zapotitlán Suchitepéquez. El municipio de Zunilito, Suchitepéquez comprende una población que se llama Zunilito y es la cabecera municipal, la cual está integrada por 5 aldeas y 7 fincas.²

² Segeplan. *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 9.

1.3. Suelo y topografía del municipio de Zunilito, Suchitepéquez

El municipio de Zunilito cuenta con suelos muy arenosos y fértiles; sus principales accidentes, se encuentra en las laderas y barrancos que bordean el paso del río Chitá, que llegan a medir hasta treinta y cinco metros de profundidad, en la parte baja del municipio, pero en la parte alta llega a tener profundidades mucho mayores. El mayor recurso natural explotable es la tierra que en su mayoría es tierra fértil y cultivable.³

La cobertura vegetal y uso de la tierra en el caso de Zunilito está conformado en centros poblados con 18,75 hectáreas y para agricultura en granos básicos 27,32 hectáreas; cultivo de café, asociado con banano y plátano 1 189,50 hectáreas.⁴

El municipio cuenta con 967,55 hectáreas tierras aptas para la producción agrícola si se les da un manejo adecuado; 229,79 y 38,22 hectáreas, aptas para la producción forestal. Según el III Censo Nacional Agropecuario levantado en 1979 por la Dirección General de Estadística, en el municipio de Zunilito predominaba el Régimen de Tenencia Propia con el 99,27 % de la superficie total, comparado con el Régimen de Tenencia Arrendada que únicamente tenía el 0,73 % de dicha superficie, situación que no ha variado sustancialmente al corroborar esta información con la proporcionada en el mapeo participativo.⁵

1.4. Clima del municipio de Zunilito, Suchitepéquez

La temperatura promedio del municipio de Zunilito es de 20 grados centígrados y el clima es templado. En el departamento se observa una

³ Municipalidad de Zunilito. *Monografía de Zunilito*. p. 2.

⁴ Segeplan. *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 40.

⁵ *Ibíd.*

precipitación pluvial abundante durante los meses de mayo a octubre (aproximadamente 3 248 mm), mientras que en los meses de noviembre a abril se considera época de verano.⁶

1.5. Hidrografía

El municipio de Zunilito, Suchitepéquez es irrigado por los ríos Chitá, Icuaná, Pancero y Sis; y por el riachuelo El Arenero; su altitud es de 790 metros sobre el nivel del mar. El territorio se halla en la cuenca Sis-Icán, con una extensión territorial de 1309,13 hectáreas, dentro de dicha cuenca, las corrientes de agua corresponden a la cuenca Sis-Icán.⁷

1.6. Monografía del lugar

El origen de Zunilito se encuentra en el período hispánico cuando se conoció al pueblo Tzunil (hoy cabecera municipal) con el nombre de Santa Catalina Suñil, Santa Cathalina Sunil o Santa Catarina Zunil. Zunilito formaba parte del municipio de Zunil, del departamento de Quezaltenango, hasta que por acuerdo gubernativo del 27 de junio de 1876 se dispuso que el paraje dependiera de la jurisdicción departamental de Suchitepéquez, esto con base a la consulta hecha al Gobierno por el jefe político del departamento de Suchitepéquez, considerando que Zunilito solo estaba a 12 km de la cabecera de Suchitepéquez, mientras que de Quezaltenango a 47,2 km. Fue así como, tomando en cuenta los informes emitidos por los jefes políticos, el Ministerio de la Guerra, encargado del Gobierno, emitiera tal acuerdo. Tomando en cuenta el anterior acuerdo gubernativo, con fecha 24 noviembre 1904 se decidió que "las tierras que poseen en común los vecinos indígenas de Santo Tomás Perdido y Zunilito, de la

⁶ Segeplan. *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 41.

⁷ *Ibíd.* p. 40.

jurisdicción de Quezaltenango, se distribuyan entre los mismos indígenas. Zunilito se erigió en municipio, siempre dentro del departamento de Quezaltenango, por acuerdo gubernativo del 12 junio 1928 a solicitud de los vecinos, en tiempos del General Lázaro Chacón.⁸

1.6.1. Población

Según el XI Censo de Población y VI Censo de Habitación de Guatemala levantado por el INE al año 2002, Zunilito Suchitepéquez tenía una población de 5 264 habitantes. Para el año 2010 la población proyectada fue de 7 216 subdivida en 3 582 hombres y mujeres de 3 634. La población por grupos étnicos es de 71,71 % indígenas y 28,29 % no indígenas, con una población urbana de 42,39 % y rural de 57,61 %.⁹

1.6.2. Crecimiento poblacional

Según el censo de la municipalidad de Zunilito efectuado en el año 2009, el total de habitantes del municipio es de 6 294 personas, lo que implica una densidad poblacional de 112 personas por km². Según proyecciones de población del INE para dicho año el total de habitantes es de 6996 traduciéndose en una densidad poblacional de 125 personas/ km², la diferencia entre ambos datos es de 13 habitantes/ km². De acuerdo con la información descrita por el INE en el Censo de población y vivienda 2002 la densidad poblacional era de 94 personas por km², con los datos del censo realizado por la municipalidad, la densidad poblacional es de 112 personas por km², eso indica un aumento de 18 personas por kilómetro cuadrado en los últimos 7 años.¹⁰

⁸ Segeplan, *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 14.

⁹ *Ibíd.* p. 10.

¹⁰ *Ibíd.* p. 11.

Siempre analizando el comportamiento poblacional, según proyecciones del INE para el 2009 la densidad poblacional es de 125 personas/ km². Para el 2010 el INE proyecta una población de 7 216 subdivida en 3582 hombres y mujeres de 3 634. De acuerdo con estos últimos datos la densidad poblacional es de 129 personas por km²; ello hace una diferencia de 4 habitantes/ km² en un año. Tomando en cuenta los datos de población tanto del censo municipal (6 294 para el año 2009) y proyecciones del INE 2010 (7 216) se estima una población total de 6 755 habitantes. Asumiendo que la extensión territorial es de 56 km² se promedia una densidad de 121 habitantes/km². El total de la población se concentra en un espacio territorial sumamente reducido (entre el 2 % y el 5 %) del total de la circunscripción geográfica, no se dispone de más espacio para ampliar proyectos de vivienda.¹¹

1.6.3. Aspectos culturales e idiomas

En el municipio de Zunilito, Suchitepéquez se celebra la fiesta titular de Zunilito que se celebra del 23 al 25 de noviembre, conmemorándose a la Virgen Santa Catarina de Alejandría. Se realizan diferentes actividades como la coronación de reinas, se realizan actividades deportivas, religiosas, bailes musicales, corrida de toros. Anteriormente se organizaban: baile de la conquista, corrida de cintas, carrera de niños encostalados, corrida de marranos y palos ensebados. Asimismo, una fiesta importante es la semana santa, que inicia el 5º viernes de cuaresma, con actividades escolares, desfile de comparsas, procesiones, corrida de judíos y centuriones. Otro evento de mucho significado es el 15 septiembre, celebrado con bastante regocijo por los habitantes de Zunilito, quienes participan en diferentes actividades, así como concursos de altares cívicos, ranchos y comida típica. Dicha celebración se realiza frente al

¹¹ Segeplan, *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 11.

parque central, donde hay variedad de platillos típicos de diferentes regiones del país, elaborados en forma especial para esa ocasión. Esta celebración ha trascendido el departamento que concurren personas de diferentes municipios para ser partícipes del jolgorio.¹²

En el municipio de Zunilito, Suchitepéquez para el año 2002, un 50,9 % de la población habla español, un 41,6 % K'iche' y 7,2 % Kaqchikel, también se registran 7 hablantes Poqoman, 7 Tz'utujil, un Q'anjob'al y un Q'eqchi'.¹³

Existen tres iglesias católicas, una en el centro de la población, otra en el Cantón Chitá y la otra en Cantón San Lorencito; asimismo, 15 iglesias evangélicas de diferentes denominaciones diseminadas en todo el municipio. La población evangélica se calcula en más del 70 %.¹⁴

1.7. Servicios con los que cuenta el municipio

El centro de salud presta gratuitamente el servicio de consulta externa, control de salud materno-infantil, planificación familiar, salud reproductiva, control de enfermedades inmuno-prevenibles, vacunación, control de vectores y saneamiento ambiental, mediante inspecciones sanitarias a los comercios del municipio. También tiene a su cargo el control de dengue, malaria, tuberculosis y enfermedades de transmisión sexual, entre ellas el VIH/sida. Para la prevención de rabia se realizan campañas de vacunación canina. El puesto de salud ubicado en el Cantón Chitá es administrado por una ONG y brinda los servicios de consulta externa, laboratorio y programas inmuno-preventivos.¹⁵

¹² Segeplan, *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 16.

¹³ *Ibíd.*

¹⁴ *Ibíd.*

¹⁵ *Ibíd.*

1.7.1. Agua y saneamiento

Respecto al sistema de drenajes, los 6 lugares poblados del municipio de Zunilito cuentan con este servicio. El porcentaje de hogares que disponen de servicio sanitario es de 89,00 %. La cantidad de hogares con dicho servicio es de 898, los que no disponen son 111. El municipio dispone de plantas de tratamiento de aguas residuales con lo cual procesan las aguas servidas antes de que desfoguen en el río Chitá, ello fue una iniciativa para amortiguar los niveles de contaminación.¹⁶

El 85,9 % poseen sistemas mejorados de saneamiento. Los sanitarios de las viviendas del municipio están conectados a drenajes. Algunas viviendas tienen letrinas, aunque debido a las enfermedades han tratado de cambiarlas por sanitarios porque, regularmente, están construidas muy cerca de las casas y hay riesgos a la salud.¹⁷

Los principales causantes de contaminación de los recursos hídricos son los propietarios de fincas de café, asimismo, aunque la municipalidad se esfuerza en el mejoramiento del ambiente existen ciudadanos que todavía no están sensibilizados, faltando trabajar en esa dirección. También se evidencia la falta de responsabilidad social empresarial, debilidad institucional en materia de salud y ambiente, quienes no han dado solución al problema de contaminación provocado por la granja avícola.¹⁸

¹⁶ Segeplan. *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 43.

¹⁷ *Ibíd.* p. 44.

¹⁸ *Ibíd.* p. 45.

1.7.2. Desechos sólidos

En el municipio de Zunilito, Suchitepéquez existe insuficiente recolección de los desechos sólidos, la ausencia de diseños de rutas y la ubicación final inadecuada sanitariamente, constituida por botaderos de basura al aire libre (en los cuales la basura no recibe ningún tipo de tratamiento) perjudican la salud. Los vertederos clandestinos (aunque no son muchos) se ubican a la orilla de barrancos o ríos provocando contaminación del suelo y de las aguas por las corrientes de lluvia.¹⁹

El municipio posee el servicio de recolección de basura, pero algunos la queman, otros la entierran, dependiendo si es basura orgánica, aunque hay personas que optan por tirarla en cualquier otro lado no autorizado. El servicio del tren de aseo se tiene en todas las comunidades dándole a la basura el tratamiento adecuado en el basurero municipal. En las comunidades se tiene el proyecto de limpieza ejecutado por las señoras de la comunidad y pagada por la municipalidad, cada mes se cambia de grupo de limpieza lo cual coadyuva a mejorar en parte las condiciones económicas y a la vez contribuye a eliminar focos de contaminación.²⁰

1.7.3. Energía eléctrica

El 95 % de las viviendas del municipio de Zunilito, Suchitepéquez tienen energía eléctrica proporcionada por una empresa privada, las pocas familias sin ese servicio son las situadas en las fincas de la parte alta del municipio (La Esperanza).²¹

¹⁹ Segeplan, *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 42.

²⁰ *Ibíd.* p. 43.

²¹ *Ibíd.*

1.8. Educación

El municipio de Zunilito cuenta con 11 establecimientos públicos de educación preprimaria, 8 escuelas oficiales de nivel primario, 2 centros educativos de ciclo básico y uno de ciclo diversificado. Asimismo, relacionado con la educación extraescolar, existen 2 academias de mecanografía, una de computación, una Academia Municipal Confección y 2 de escuelas municipales de deporte.²²

A nivel nacional, el analfabetismo de los jóvenes de 15 a 24 años de edad ha ido disminuyendo. En el municipio de Zunilito se estima según las proyecciones del Censo 2002 y los resultados finales de CONALFA 2008, que el porcentaje promedio de analfabetismo en la población mayor de 15 para ese año alcanzó un 10,30 %. En la población analfabeta se observa cierta diferencia entre hombres y mujeres.²³

La cobertura educativa indica la capacidad de incorporar a la población en edad escolar al sistema educativo nacional, uno de los indicadores para establecer la cobertura educativa es la Tasa Neta de Escolaridad TNE. Esta medición representa la cantidad de niños que tienen acceso a cada nivel del sistema educativo en la edad correspondiente en relación con la población total del mismo rango de edad. En el 2007 la mayor cobertura se da en el nivel primario con un 92,53 % y preprimario 80,70 %, el ciclo básico alcanza el 46,06 %. En el caso del nivel diversificado la cobertura es mínima 1,29 %, tomando en cuenta que hasta ese año Zunilito dispuso de ese nivel.²⁴

²² Segeplan, *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 44.

²³ *Ibíd.*

²⁴ *Ibíd.* p. 25.

En el nivel primario del 2007 al 2009 se avanza el 4,91 % en la cobertura, lo cual es significativo al observar que en el 2008 la Tasa Bruta de Cobertura TBC, es del 128,51 % (igual a Tasa Bruta de Escolaridad -TBE-), siendo en hombres de 131,23 % y en mujeres de 125,68 %; dicha TBC de Zunilito es superior al promedio departamental situado en 116,05 %. Muy estrechamente en esa misma lógica la Tasa Neta de Cobertura -TNC- en el municipio es del 108,94 % (equivalente a la Tasa Neta de Escolaridad-TNE-) que en hombres de 106,84 % y en mujeres de 111,11 % e igualmente supera la TC departamental promediada en 97,43 %. Esta situación se explica porque donde existen avances reveladores de cobertura la tendencia de crecimiento porcentual disminuye positivamente. En la Tasa Bruta de Cobertura -TBC- este nivel supera al promedio departamental en más del 70 % y en la TNC un 30 %.²⁵

Al hacer un análisis retrospectivo de la cobertura educativa se observa que las tasas netas de escolaridad han aumentado del año 2000 al 2008. Para el año 2000, la cobertura de primaria era de 83,43 %, preprimaria 57,86 % y en ciclo básico de 26,94 %, no funcionaba ningún centro educativo del ciclo diversificado. La cobertura en el nivel diversificado inició en el año 2007 a través de la creación de un establecimiento privado.²⁶

1.9. Condiciones de vivienda

Las casas del municipio de Zunilito tienen cuatro variaciones en su construcción. Paredes de block, techo de lámina y piso; paredes de block, terraza y piso; paredes de madera, techo de lámina y piso y; las de paredes de lámina, techo de lámina y piso de tierra. Según información del mapeo participativo, un quince por ciento (15 %) de sus habitantes tiene vivienda en calidad de alquiler.²⁷

²⁵ Segeplan, *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 25.

²⁶ *Ibíd.*

²⁷ *Ibíd.* p. 33.

En el año 2002 el total de viviendas es de 1 127 distribuidas por sus características formales e informales: 1 100 casas formales; 1 apartamento; rancho 9; 0 palomar; improvisada 5; otros 12. El tipo de construcción es el siguiente: 1 local de vivienda de ladrillo, 676 de block, 4 de concreto, 1 de adobe, 426 de madera, 5 de lámina y de lepa. Respecto a la tenencia de la propiedad, un ochenta y cinco por ciento (85 %) de los habitantes del municipio viven en casas propias, algunas las han adquirido por compra directa y otros por herencia familiar.²⁸

1.10. Vías de comunicación

Zunilito dispone de una red vial bastante aceptable, pues la mayoría de los poblados son accesibles por carreteras adoquinadas que se mantienen en sus lugares condiciones transitables durante todo el año. La carretera que comunica de la cabecera municipal con la cabecera departamental está construida con pavimento asfáltico, pasando por la cabecera municipal de San Francisco Zapotitlán y es transitable todo el año. El sistema de transporte está bien definido dentro del municipio, pues hay servicio de 30 picops que van hacia todos los cantones. El número de líneas de transporte registradas es de 3 y operan con un número de 8 buses, el servicio de transporte de carga es proporcionado por 11 camiones.²⁹

²⁸ Segeplan, *Plan de Desarrollo Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025*. p. 34.

²⁹ *Ibíd.* p. 48.

2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales presentan diferentes características las cuales se pueden tener en cuenta para poder tener un manejo del agua para ser tratadas, de acuerdo con esto, si no el buen manejo obedecería a una mala caracterización de las aguas, ya que impide seleccionar correctamente los tratamientos y aplicar criterios adecuados para el diseño.

2.1. Características físicas del agua residual

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.³⁰

2.1.1. Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la cantidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. La materia coloidal

³⁰ FUENTES, Margarita. *Fundamentos del agua residual*. p. 25.

se dispersa o absorbe la luz, impidiendo su transmisión. Aun así, no es posible afirmar que existe una relación entre la turbiedad y la concentración de sólidos en suspensión de agua no tratada. No obstante, sí están razonablemente ligados la turbiedad y los sólidos en suspensión en el caso de efluentes afectados de la decantación secundaria en el proceso de fangos activados.³¹

2.1.2. Color

Históricamente, para la descripción de un agua residual, se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término se refiere a la edad del agua residual, que puede ser determinada cualitativamente en función de su color y su olor. El agua residual reciente suele tener color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.³²

2.1.3. Olor y sabor

Los olores y sabores en el agua con frecuencia ocurren juntos y en general son graves indistinguibles. Muchas pueden ser las causas de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran materia orgánica en solución,

³¹ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.72.

³² *Ibíd.*

H₂S, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, entre otros.³³

Un observador experimentado puede detectar la presencia de sales metálicas disueltas de Fe, Zn, Mn, Cu, K y Na, por medio del sabor; sin embargo, debe recordar siempre que la sensibilidad es diferente de persona a persona y que, incluso, con el mismo individuo no se obtendrán resultados consistentes de un día para otro.³⁴

La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de esta y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.³⁵

2.1.4. Temperatura

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C, pudiéndose tomar 15,6 °C como valor representativo.³⁶

³³ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 110.

³⁴ *Ibíd.*

³⁵ *Ibíd.*

³⁶ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.70.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua puede provocar cambios en las especies piscícolas. También es importante para industrias que emplean el agua para refrigeración, por ejemplo, donde es fundamental la temperatura de captación del agua.³⁷

Por otro lado, el oxígeno es menos saludable en agua caliente que en agua fría. El aumento en las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es causa frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificados cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.³⁸

2.1.5. Sólidos

Los sólidos en el agua son toda aquella materia que se encuentra en el agua y que es sólida cuando se encuentra fuera de ella.

³⁷ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.71.

³⁸ *Ibíd.*

2.1.5.1. Sólidos totales

Analíticamente, se define el contenido de sólidos totales como la materia que se obtiene como residuo después de algún agua al proceso de evaporación entre 103 y 105 ° C. No se define como necesaria aquella materia que pierde durante la evaporación debida a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se consideran como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/L, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales o los residuos de la evaporación pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro. Para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio (Whatman GF / C), con un tamaño nominal de poro de 1,2 micrómetros, aunque también suele emplearse filtro de membrana de policarbonato. Es conveniente resaltar los resultados que se obtienen empleando ambos tipos de filtro pueden presentar algunas diferencias, achacables a la diferente estructura de los filtros.³⁹

2.1.5.2. Sólidos disueltos

También conocido como residuo filtrable. Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa y el residuo de la evaporación se seca a 103-105 °C, el incremento de peso sobre el de la cazuela vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrable.⁴⁰

³⁹ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.60.

⁴⁰ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 112.

2.1.5.3. Sólidos suspendidos

También conocido como residuo no filtrable o material no disuelto. Son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103-105 °C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuos no filtrables.⁴¹

2.1.5.4. Sólidos volátiles y sólidos fijos

Esta determinación se suele hacer en aguas residuales y lodos con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. El procedimiento estándar consiste en algunas cazuelas, con el residuo retenido después de completar el ensayo para sólidos totales, o el crisol Gooch, luego completar el ensayo para sólidos suspendidos, un calcinamiento en una mufla, una temperatura de 550 ± 50 °C, durante quince a veinte minutos. La pérdida de peso se registra como mg/L de sólidos volátiles y el residuo como mg / L de sólidos fijos.⁴²

2.1.5.5. Sólidos sedimentables

La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de un litro de volumen y registrando el volumen de material sedimentado en el cono, al cabo de una hora, en mL/L.⁴³

⁴¹ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 112.

⁴² *Ibíd.*

⁴³ *Ibíd.*

Los procedimientos usados en la determinación del contenido de sólidos son métodos gravimétricos y como tales requieren la determinación del peso de crisoles o de cazuelas con residuos o sin ellos. Es importante, pues, usar recipientes previamente acondicionados y de peso constante, con el fin de no introducir errores en la determinación. Se prefieren recipientes de platino debido, a que este es relativamente inatacable por las sales minerales y no sufre cambios significativos de peso durante el proceso de calentamiento, pero su alto costo limita su uso. En cualquier caso, los recipientes deben estar bien limpios y haber sido tratados a temperaturas exactamente iguales a las que se someten durante los ensayos, hasta adquirir su "peso constante". Si la temperatura de secado es diferente de la usada normalmente debe especificarse, pues los resultados no serían comparables.⁴⁴

2.2. Características químicas del agua residual

Las aguas servidas están formadas por un 99 % de agua y un 1 % de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos.

2.2.1. Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por esta razón, el valor de la conductividad se usa

⁴⁴ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 113.

mucho en análisis de aguas para obtener un estimado rápido del contenido de sólidos disueltos.⁴⁵

2.2.2. Acidez

La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad para reaccionar con iones hidróxido, como su capacidad para ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. Las aguas excesivamente ácidas atacan los dientes.⁴⁶

La determinación de la acidez es de importancia en ingeniería sanitaria debido a las características corrosivas de las aguas ácidas, así como al costo que suponen la remoción y el control de las sustancias o productos corrosión. El factor de corrosión en la mayor parte de las aguas es el CO₂, especialmente cuando está acompañado de oxígeno. pero en residuos industriales es la acidez mineral. El contenido de CO₂, es, también, un factor fundamental para la modificación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de aguas duras. En aguas naturales, la acidez puede ser producida por el CO₂; por la presencia de iones H⁺ libres; por la presencia de acidez mineral proveniente de ácidos fuertes como el sulfúrico, nítrico, clorhídrico, entre otros, y por la hidrolización de sales de ácido fuerte y base débil.⁴⁷

La causa más común de acidez en aguas es el CO₂, el cual puede estar disuelto en el agua como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados en el tratamiento o de la oxidación de la materia orgánica, o por disolución del dióxido de carbono atmosférico. El dióxido de carbono es un gas incoloro, no combustible, 1,53 veces más pesado que el aire, ligeramente soluble en agua,

⁴⁵ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 114.

⁴⁶ *Ibíd.* p. 123.

⁴⁷ *Ibíd.*

no tóxico en concentraciones normales para los seres vivos. El uso biológico más importante de CO₂, es como fuente de carbono para la fotosíntesis de algas y macrofitas sumergidas.⁴⁸

2.2.3. Dureza

Como aguas duras se consideras aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua.⁴⁹

2.2.4. pH

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si esta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. La concentración de ion hidrógeno presente en el agua está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua.⁵⁰

⁴⁸ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua* p. 124.

⁴⁹ Ibid. p. 130.

⁵⁰ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.95.

2.2.5. Fluoruros

Los fluoruros son contaminantes inorgánicos presentes en las aguas residuales de muchos procesos industriales.⁵¹

La mayor parte de los fluoruros son de baja solubilidad; por ello la concentración de fluoruros en aguas naturales es normalmente baja, por lo general menor de 1 mg/L en aguas superficiales, raras veces mayor de 10 mg/L y excepcionalmente superior a 50 mg/L – F.⁵²

La importancia de los fluoruros en la prevención de la caries se ha demostrado completamente; el organismo procede con los fluoruros en igual forma que con los demás nutrientes, es decir, que una vez ingeridos los absorbe y los distribuye por la sangre a todos los órganos. Dada la afinidad especial del flúor con el hueso y el diente, es allí donde preferiblemente es captado y utilizado. Según las investigaciones clínicas y epidemiológicas efectuadas en diferentes países, en la profilaxis de la caries dental con fluoruros añadidos al agua de abastecimiento de las comunidades se puede alcanzar una acción protectora del 60 % en promedio, y un poco más en relación con otras comunidades que aún no han iniciado el proceso de fluoración de las aguas de abastecimiento. La demora en la adopción de la fluoración de los abastecimientos de agua se debe al temor que existió por la aparición de fluorosis dental o esmalte moteado y otros fenómenos tóxicos causados por un consumo excesivo de flúor.⁵³

⁵¹ ROMERO ROJAS, Jairo. *A Calidad del agua*. p. 159.

⁵² *Ibíd.*

⁵³ *Ibíd.*

2.2.6. Hierro y manganeso

El hierro y el manganeso son elementos que a menudo se encuentran en aguas subterráneas provocando la formación de precipitados y colorando el agua.

Tanto el hierro como el manganeso crean problemas en suministros de agua. En general, estos problemas son más comunes en aguas subterráneas y en aguas del hipolimnion anaeróbico de lagos estratificados; en algunos casos, también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses.⁵⁴

El hierro existe en suelos y minerales, principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, FeS₂, pirita. En algunas áreas se presenta también como carbonato ferroso, siderita, la cual es muy poco soluble. Como las aguas subterráneas contienen cantidades apreciables de CO₂, producidas por la oxidación bacteriana de la materia orgánica con la cual el agua entra en contacto.⁵⁵

El manganeso existe en el suelo, principalmente como dióxido de carbono, el cual es muy insoluble en aguas que contienen dióxido de carbono. En condiciones anaeróbicas, el manganeso en la forma de dióxido es reducido de una valencia +4 a una valencia +2 y se presenta su solución de la misma manera que con los óxidos férricos.⁵⁶

⁵⁴ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 162.

⁵⁵ *Ibíd.* p. 163.

⁵⁶ *Ibíd.*

2.2.7. Sílice

La sílice es utilizada en el tratamiento de aguas como medio filtrante, pero este puede disolverse en el agua o quedar suspendido en partículas causando problemática, ya que se comporta como un ácido.

Con excepción del oxígeno, el silicio o silicón es el elemento más abundante en la corteza terrestre. En rocas se encuentra comúnmente en la forma de óxido de silicio, SiO_2 , o sílice, y combinado con metales en los silicatos correspondientes. La mayor parte de la sílice disuelta en aguas proviene de la descomposición química de los silicatos en los procesos de metamorfismo o meteorización. El contenido de silicón presente en aguas se expresa en términos de su óxido, SiO_2 , o sílice.⁵⁷

2.2.8. Fósforo

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales. Actualmente se considera como uno de los nutrientes que controlan el crecimiento de algas, pero un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitado de plantas, el cual es la causa de las condiciones específicas para los usos benéficos del agua.⁵⁸

El empleo de detergentes, los cuales contienen grandes cantidades de fósforo, ha aumentado el contenido de fosfato en las aguas residuales domésticas y ha contribuido al problema del incremento de este en las fuentes receptoras. En algunos suministros de agua se usan polifosfatos como medio de control de corrosión. En aguas subterráneas de bajo contenido de fosfatos se

⁵⁷ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 167.

⁵⁸ *Ibíd.* p. 169.

han utilizado estos como trazadores, pues se requieren solamente con frecuencia como trazadores, por lo que se han reducido pequeñas cantidades para dichos ensayos.⁵⁹

2.2.9. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Sin embargo, el oxígeno es sólo ligeramente soluble en agua. La cantidad real de oxígeno y otros gases que puede estar presente en la solución viene condicionada por la solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura, y pureza del agua.⁶⁰

Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. El problema se agrava en los meses de verano, debido a que el caudal de los cursos de agua es generalmente menor, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.⁶¹

2.2.10. Sodio

El sodio es un metal muy activo, que no existe libre en la naturaleza. Todas las sales de sodio son muy solubles en agua, por lo que es muy común hallar aguas con sodio. En aguas de mar el sodio es el catión más abundante; se encuentra en los límites del orden de 1 g/L, lo que demuestra que el sodio tiene

⁵⁹ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 169.

⁶⁰ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.101.

⁶¹ *Ibíd.* p.102.

que permanecer soluble una vez Tanto en aguas de mar como en aguas salinas, es habitual hallar el sodio asociado con los cloruros. En agua dulce el contenido de sodio es muy variable, por lo regular entre 10 y 100 mg/L. En aguas residuales el sodio, principalmente de la orina, 1% de cloruro de sodio, así como el contenido propio del agua de suministro de las ventas de uso industrial. En general, el contenido de sodio en las aguas residuales se incrementa por las razones anteriores en unos 40-70 mg/L. En aguas subterráneas se pueden encontrar granulos de sodio, especialmente en acuíferos en contacto con compuestos como la halita, NaCl y la mirabilita, Na₂SO₄ · 10H₂O.⁶²

2.2.11. Potasio

El potasio se encuentra en la naturaleza en forma iónica o molecular: es un elemento muy activo que reacciona vigorosamente con el oxígeno y el agua. Muchas de sus características son semejantes a las del sodio y sirve por ello como sustituto de este en muchas sales de uso industrial; sin embargo, es más costoso que el sodio y por ello de utilización menos frecuente.⁶³

El potasio en aguas está íntimamente relacionado con el sodio y algunas veces se acostumbra a analizar en conjunto, pero en general se presenta en concentraciones menores que las del sodio; normalmente la concentración de potasio en aguas superficiales es menor de 15 mg/L, en aguas subterráneas menores de 10 mg/L y en aguas salobres o de manantiales cálidos puede ser mayor de 100 mg/L.⁶⁴

⁶² ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 190.

⁶³ *Ibíd.* p. 192.

⁶⁴ *Ibíd.*

2.2.12. Grasas y aceites

En el lenguaje común, se entiende por grasas y aceites el conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua, muy ofensivas estéticamente. En aguas residuales los aceites, las grasas y las ceras son los principales lípidos de importancia. El parámetro grasas y aceites incluye los ésteres de ácidos grasos de cadena larga, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos, comúnmente con un grupo ácido carboxílico en un extremo; materiales solubles en solventes orgánicos, pero muy insolubles en agua debido a la estructura larga hidrofóbica del hidrocarburo. Estos compuestos sirven como alimento para las bacterias, puesto que pueden ser hidrolizados en los ácidos grasos y alcoholes correspondientes.⁶⁵

Las grasas y los aceites son muy complicados de transportar en las tuberías de alcantarillado, reducen la capacidad de flujo de los conductos, son difíciles de atacar biológica y generalmente se requiere su remoción en plantas de pretratamiento. Las grasas y los aceites pueden constituir un problema serio de polución en mataderos, frigoríficos, industrias empacadoras de carnes, fábricas de aceite de cocina y margarina, restaurantes, estaciones de servicio automotor e industrias de distinta índole. Su cuantificación es necesaria para determinar la necesidad del pretratamiento, la eficiencia de los procesos de remoción y el grado de polución por estos compuestos. En general, su concentración para descarga sobre el sistema de alcantarillado se limita a menos de 200 mg/L; en la norma colombiana, Decreto 1594 de 1984, a 100 mg/L.⁶⁶

⁶⁵ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 196.

⁶⁶ *Ibíd.*

En plantas convencionales de tratamiento, las grasas pueden permanecer en el efluente primario en forma emulsificada. A pesar de la destrucción de los agentes emulsionantes por el tratamiento biológico secundario, la grasa no tratada se separa del agua y la flota en los tanques de sedimentación secundaria. Las grasas y los aceites son uno de los problemas principales en la disposición de lodos crudos sobre el suelo; por ello, uno de los objetivos de la digestión de lodos es la reducción de ellos. Además, las grasas y los aceites afectan adversamente la transferencia de oxígeno del agua a las células e interfieren con su rendimiento dentro del proceso de tratamiento biológico aeróbico.⁶⁷

2.3. Características bacteriológicas del agua residual.

Es de suma importancia tratar las aguas residuales eliminando todos los agentes patógenos de origen humano con el propósito de evitar una contaminación biológica.

2.3.1. Microorganismos

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y bacterias. La mayoría de los organismos pertenecientes al grupo de las eubacterias. La categoría de protista, dentro de los organismos eucariotas, incluye las algas, los hongos y los protozoos. Las plantas cuentan como los helechos, los musgos, las plantas hepáticas y las plantas de semilla están clasificadas como eucariotas multicelulares. Los vertebrados y los invertebrados están clasificados como animales eucariotas multicelulares. Los virus, también presentes en el agua residual, se clasifican en función del sujeto infectado.⁶⁸

⁶⁷ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p. 96.

⁶⁸ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.103.

2.3.1.1. Bacterias

Las bacterias se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas. Las bacterias esferoidales, que recibieron el nombre de los cocos, tienen un diámetro aproximado de 1 y 3 micras. Las bacterias de forma de bastón, conocidos como bacilos, tienen tamaños muy variables, entre 0,5 y 2 micras de ancho por entre 1 y 10 micras de largo. Los *Escherichia coli*, organismo común en heces humanas, miden del orden de 0,5 micras de ancho por 2 micras de largo. Las bacterias del tipo de bastón curvado tienen dimensiones que pueden variar entre 0,6 y 1,0 micras de ancho por entre 2 y 6 micras de longitud. Las bacterias con forma de espiral pueden alcanzar longitudes del orden de las 50 micras, mientras que las filamentosas pueden llegar a superar las 100 micras.⁶⁹

El papel que realizan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia. Los coliformes también se utilizan como indicadores de la contaminación por desechos humanos.⁷⁰

2.3.1.2. Hongos

Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimio heterótrofos. Muchos de los hongos son saprófitos; basan su alimentación en materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas

⁶⁹ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.104.

⁷⁰ *Ibíd.*

ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en condiciones con pH bajos. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpió en poco tiempo, y la materia orgánica comenzó a acumularse.⁷¹

2.3.1.3. Algas

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Este fenómeno, que se conoce con el nombre de crecimiento explosivo, puede conducir a que ríos, lagos y embalses sean cubiertos por grandes colonias flotantes de algas. Los crecimientos explosivos son característicos de los llamados lagos eutróficos, que son lagos con gran contenido en compuestos necesarios para el crecimiento biológico. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser ricas en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su tasa de eutrofización. En los ríos pueden producirse efectos análogos.⁷²

La presencia de algas afecta al valor del agua de abastecimiento, ya que puede originar problemas de olor y sabor. En cuanto a los usos del agua relacionados con el ocio, las algas también pueden alterar el valor de las aguas superficiales debido al crecimiento de ciertas especies de peces y formas de vida acuáticas. La determinación de la concentración de algas en aguas superficiales se realiza tomando muestras por algunos de los métodos conocidos y haciendo

⁷¹ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.104.

⁷² *Ibíd*, p. 105.

un recuento al microscopio. Los procedimientos detallados para el recuento de algas se describen en los Métodos estándar.⁷³

Uno de los problemas más importantes al que enfrenta la ingeniería sanitaria en el campo de la gestión de la calidad del agua es el de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de diferentes orígenes de modo que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas. La solución puede implicar la contaminación del carbón, así como las diferentes formas de nitrógeno y fósforo y algunos de los elementos que se hallan presentes en el nivel de traza, como el hierro y el cobalto.⁷⁴

2.3.1.4. Plantas y animales

Las diferentes plantas y animales que tienen importancia para el ingeniero sanitario tienen muy pequeñas variaciones: desde los gusanos rotíferos microscópicos hasta crustáceos macroscópicos. El conocimiento de estos organismos resulta útil a la hora de valorar el estado de los lagos y las empresas, al determinar la toxicidad de las aguas residuales evacuadas al medio ambiente, ya la hora de establecer la determinación de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados para destruir los residuos orgánicos.⁷⁵

Desde el punto de vista de la salud pública, existen ciertos gusanos que merecen especial atención y preocupación. Los platelmintos y los asquelmintos son importantes familias de gusanos. Platelmintos como la Tubelaria están presentes en lagos y cursos de agua de todo el mundo, y la Trematoda y la

⁷³ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.105.

⁷⁴ *Ibíd.*

⁷⁵ *Ibíd.*

Cestoda son formas parasíticas de gran importancia para la salud pública. Dentro de los asquelmintos destaca la familia de los nemátodos, que cuenta con más de 10 000 especies. Las formas parasíticas de mayor importancia son la Triquinela, causante de triquinosis; Necator, que origina anquilostomiasis; Ascaris, causante de infecciones por ascárides; y la Filaria, que provoca filariosis.⁷⁶

2.3.1.5. Virus

Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético, con una capa de recubrimiento proteínico. No tienen capacidad para sintetizar compuestos nuevos. En lugar de ello, invaden las células del cuerpo vivo que los acoge y reconducen la actividad celular hacia la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se liberará gran cantidad de virus que infectarán las células próximas.⁷⁷

Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un peligro importante para la salud pública. Por ejemplo, a partir de datos experimentales, se ha comprobado que cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10 000 y 100 000 dosis de virus hepático. Se sabe con certeza que algunos virus pueden sobrevivir hasta 41 días, tanto en aguas limpias como residuales a la temperatura de 20 °C, y hasta 6 días en un río normal. Se ha atribuido al agua de abastecimiento específicos brotes de hepatitis infecciosa. Para determinar los mecanismos de transporte y la eliminación de virus en suelos, aguas superficiales y residuales, es necesario un esfuerzo aún mayor por parte de los biólogos como de ingenieros.⁷⁸

⁷⁶ METCALF & Eddy, Inc. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. p.105.

⁷⁷ *Ibíd.* p. 106.

⁷⁸ *Ibíd.*

2.3.2. Organismos patógenos

Los organismos patógenos son todos aquellos que son capaces de provocar enfermedades infecciosas en el organismo en el cual se encuentran.

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que están infectados o que son portadores de una enfermedad determinada. Las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarreas y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos sanitarios, especialmente en zonas tropicales.⁷⁹

⁷⁹ ROMERO ROJAS, Jairo A. *Calidad del agua*. p.106.

3. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS

Las aguas residuales siempre deben ser sometidas a un pretratamiento antes de ser sometidas al tratamiento primario, secundario y terciario, hasta llegar a la desinfección previo su disposición final y reúso.

3.1. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales ordinarias

El objetivo de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales ordinarias es eliminar los contaminantes del agua mediante el uso de microorganismos. En la mayoría de los casos la materia orgánica soluble e insoluble.

3.1.1. Tecnología anaerobia

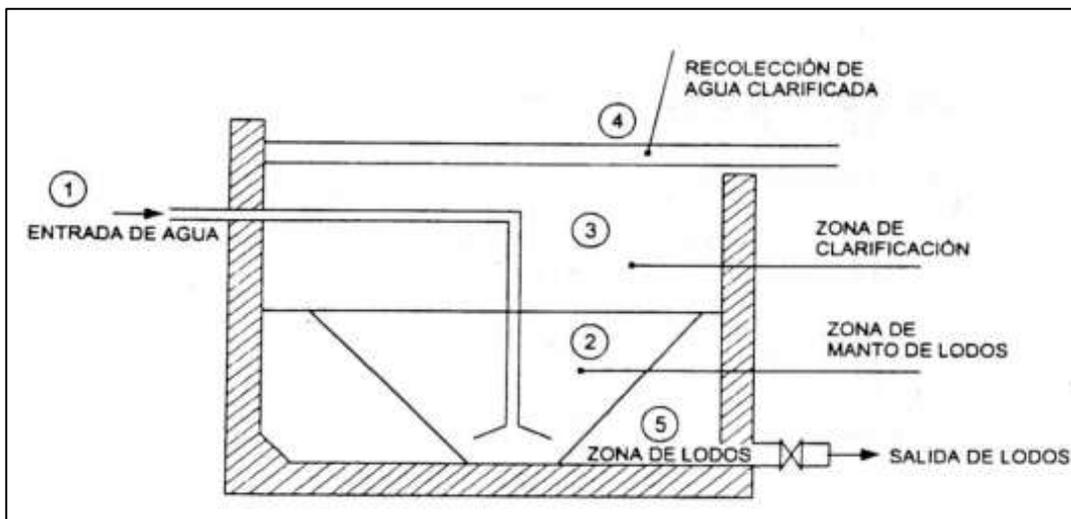
El proceso en tecnologías anaerobias para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario posee la característica de realizarse en ausencia de oxígeno.

3.1.1.1. Sedimentadores o fosas sépticas

Una fosa séptica es un artefacto para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas. En ella se realiza la separación y transformación fisicoquímica de la materia orgánica contenida en esas aguas.

El uso de la fosa séptica contribuye a reducir el impacto hacia mantos freáticos, es decir que ayudan a mejorar el medio ambiente. Como medio de retención previa de sólidos sedimentares, cuando la red de alcantarillado tiene diámetros reducidos. Se trata de una forma sencilla y económica de tratar las aguas residuales y está indicada (preferentemente) para zonas rurales o residencias situadas en parajes aislados y sustituir con ventaja a las llamadas letrinas de hoyo. Sin embargo, el tratamiento no es tan completo como en una estación depuradora de aguas residuales.⁸⁰

Figura 2. **Sedimentador de flujo vertical**



Fuente: Ingeniería Real. *Calculo para diseño de un pozo séptico*. www.ingenieriareal.com.

Consulta: junio 2020.

⁸⁰ U.S. Department of health, education, and welfare. *Manual of septic-tank practice*. p. 29.

3.1.1.2. Tanques Imhoff

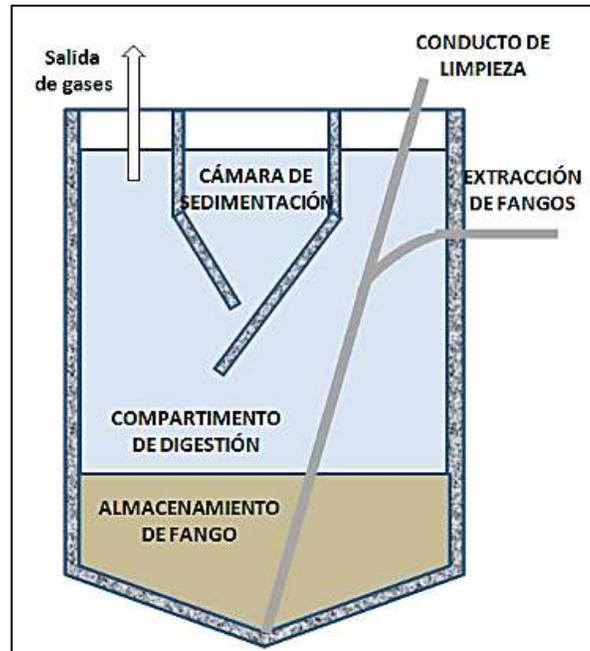
Los tanques Imhoff son una variante de la cámara séptica. Están formados por dos cámaras: una cámara superior o cámara de flujo, a través de la cual pasan las aguas residuales a una velocidad muy baja, y una cámara inferior o cámara de lados, en la que ocurre la fermentación y descomposición de la materia orgánica.⁸¹

Los sólidos de las aguas residuales o “lados”, se sedimentan en el fondo de la cámara superior que tiene las paredes de su fondo en declive. En el vertedero en el punto inferior de la cámara existe una ranura a través de la cual los sólidos sedimentados caen en la cámara inferior, aislando así las condiciones sépticas y los malos olores provenientes de la digestión de los lados y evitando su contando con la corriente de las aguas residuales que pasa por la cámara superior.⁸²

⁸¹ Ministerio del agua. *Manual de Operación Mantenimiento de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Poblaciones Rurales*. p. 13.

⁸² *Ibíd.*

Figura 3. Estructura básica del tanque Imhoff



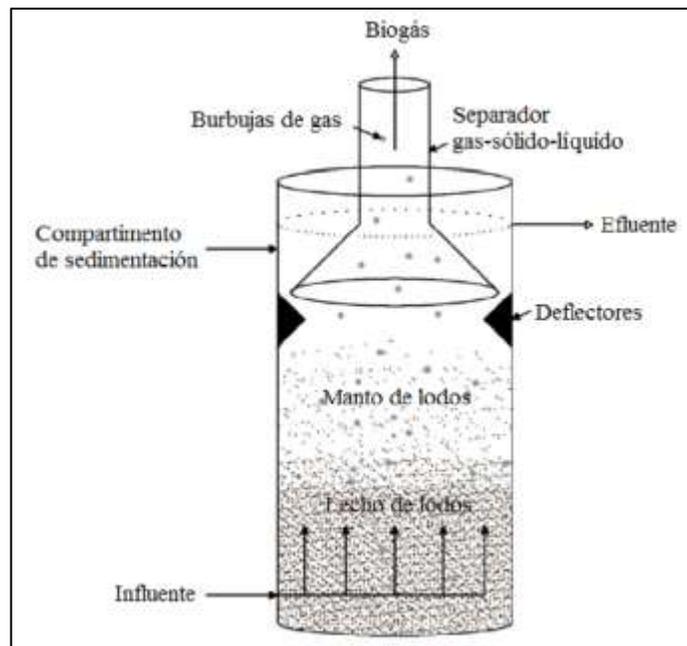
Fuente: Tratamiento de agua. *Diseño de tanques imhoff y pozas sépticas*.
<http://blogdeltratamientodelaguaresidual.blogspot.com/2018/08/disenio-de-tanques-imhoff-y-pozas.html>. Consulta: junio 2020.

3.1.1.3. Reactores UASB

La tecnología del reactor UASB se basa en la acumulación de microorganismos en un reactor de decantación interna. La superación del tiempo de retención de sólidos (TRS) en este reactor se basa en la relación del lodo por un sistema de sedimentación que se encuentra en la parte superior del reactor. La sedimentabilidad del lodo se mejora por procesos de auto selección en el cual

la presencia de cientos de iones (Ca^{**}) y la aplicación de una “presión hidráulica” juegan un papel determinante.⁸³

Figura 4. Reactor UASB



Fuente: ResearchGate. *Componentes principales del reactor UASB*. www.researchgate.net. Consultado: junio 2020.

3.2. Tecnología aerobia

El tratamiento biológico aerobio se realiza en base al principio de eliminación biológica de nutrientes (Nitrógeno y fosforo) en el proceso de lodos activados y en algunos casos en la regeneración de lodos. En ocasiones el

⁸³ JOUBERT CALVO, Oscar G. *Diseño de un reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de las aguas residuales producto del beneficiado de café en la Coopedota R.L.* p. 4.

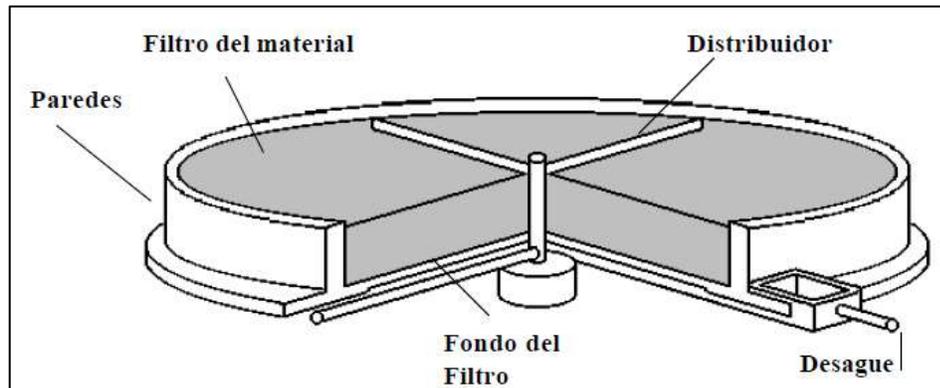
tratamiento anaerobio no es suficiente para alcanzar los requerimientos necesarios del efluente y se necesita una etapa posterior de aireación.

3.2.1. Filtros percoladores

Los filtros percoladores constan de un medio poroso a través del cual se hace pasar el agua a depurar. El sistema se asemeja en todo a una filtración sobre medio poroso, pero se realiza en régimen de no saturación, no produciéndose en estos sistemas de filtración mecánica. De esta manera es posible el paso del aire en contracorriente con el agua, suministrándose el oxígeno necesario para que tenga lugar el proceso biológico. El efluente de la decantación primaria es alimentado mediante distribuidores de caudal desde la parte superior del filtro.⁸⁴

⁸⁴ FERRER POLO, José. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. p. 107.

Figura 5. **Filtro percolador**



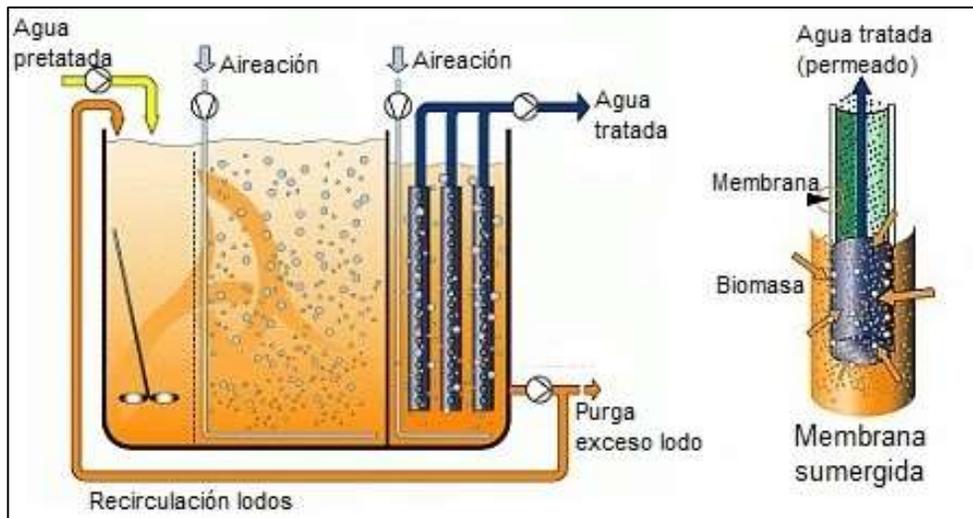
Fuente: ResearchGate. *Filtro percolador*. www.researchgate.net. Consultado: junio 2020.

3.2.2. **Reactor biológico de membrana**

El reactor Biológico de Membrana es combinación de un proceso de fangos activos y de separación mediante membranas. Las recientes innovaciones técnicas y las reducciones significativas de costes están conduciendo a un aumento en la aplicación de la tecnología MBR al tratamiento de aguas residuales, tanto municipales como industriales. Algunos de los aspectos más atractivos de los MBR son su bajo requerimiento de espacio, su carácter modular, la flexibilidad en las configuraciones, su estabilidad y la eliminación de los problemas asociados a la sedimentación de los lodos.⁸⁵

⁸⁵ Fundación para el para el conocimiento Madrid. *El agua*. p. 24.

Figura 6. **Reactor biológico de membrana**



Fuente: Gestión de Aguas y Residuos. *Biorreactor de Membrana MBR*. www.gedar.com.
Consultado: junio 2020.

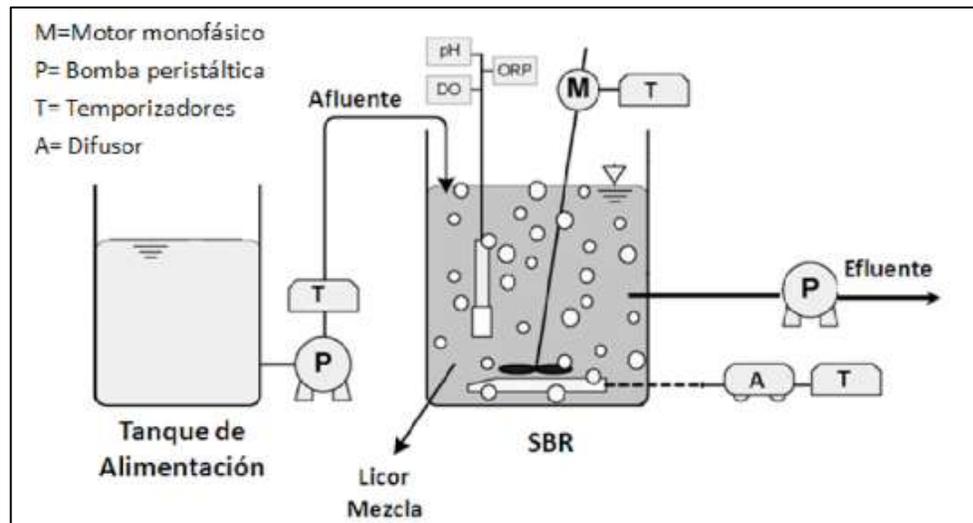
3.2.3. **Reactor biológico secuencial**

Un reactor biológico secuencial, también conocido como SBR (Sequential Biological Reactor) es un tipo de tratamiento biológico con la característica principal que utiliza un único depósito para realizar las operaciones habituales de un proceso de fangos activados.⁸⁶

Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. El proceso combina en un mismo tanque: reacción, aeración y clarificación.

⁸⁶ TECPA Ingeniería y medio ambiente. *Reactor biológico secuencial*. <https://www.tecpa.es/reactor-biologico-secuencial-sbr/>. Consulta: junio de 2020.

Figura 7. Reactor biológico secuencial



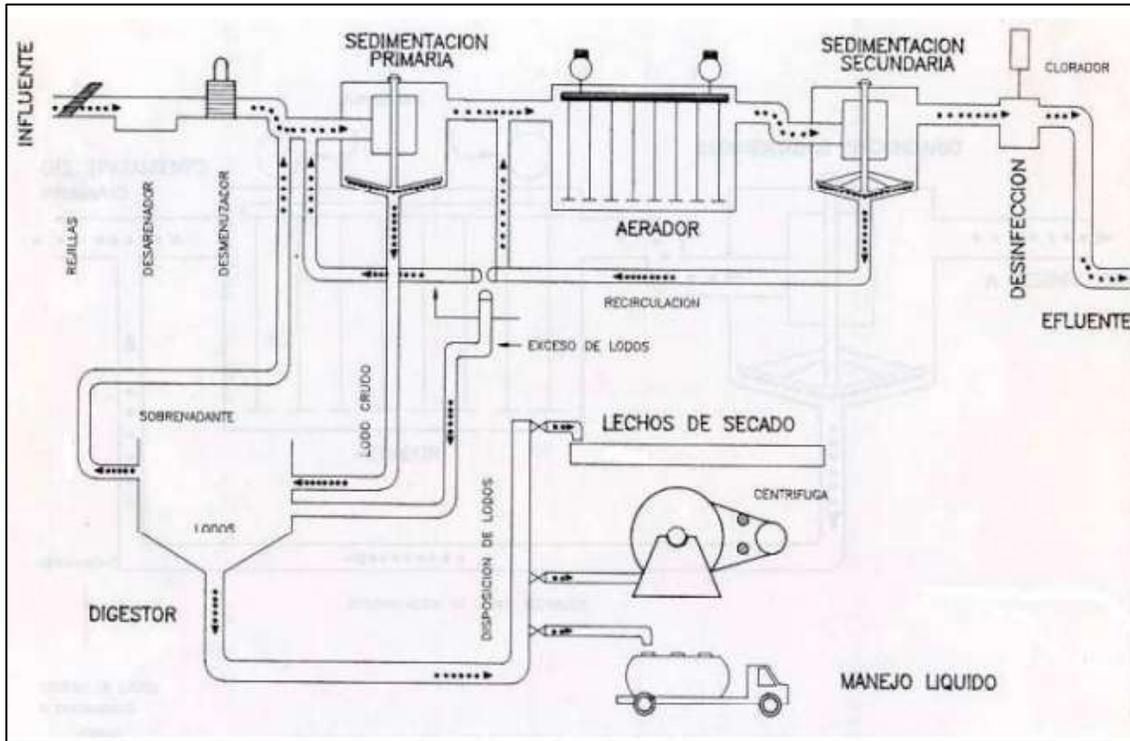
Fuente: Ingeniería, Investigación y Tecnología. *Reactor SBR*. www.sciencedirect.com. Consulta: junio 2020.

3.2.4. Lodos activados

Es el proceso más comúnmente utilizado en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Es un proceso estable y con altas eficiencias de remoción de materia orgánica. En este proceso, se tiene una corriente de recirculación de lodo de los sedimentadores secundarios hacia el reactor biológico para mantener una concentración deseada de biomasa.⁸⁷

⁸⁷ RAMÍREZ CAMPEROS, Esperanza. *Fundamentos teóricos de lodos activados y aireación extendida*. p. 47.

Figura 8. Esquema general del proceso de lodos activados



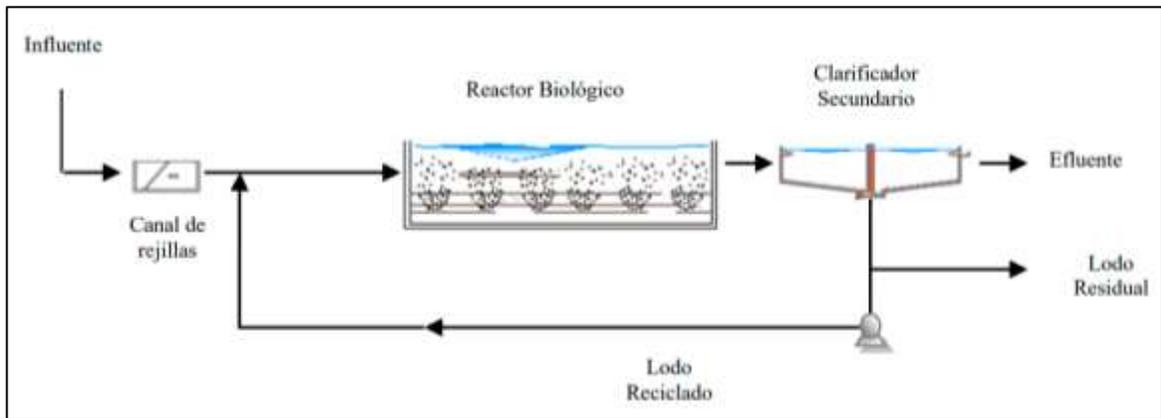
Fuente: RAMÍREZ CAMPEROS, Esperanza. *Fundamentos teóricos de lodos activados y aireación extendida*. p.47.

3.2.5. Aireación extendida

El Sistema de Aireación Extendida para el tratamiento de aguas residuales se basa en el método de aireación prolongada de dichas aguas. Este tipo de proceso, es decir, la descomposición de las aguas negras por acción de bacterias y otros microorganismos en presencia de oxígeno o aire, es una de las clases de tratamiento de aguas negras más eficientes que existen. La ventaja principal del proceso de aireación prolongada es que las instalaciones para la manipulación

de lodos son pequeñas al compararlas con las que se necesitan en el proceso de lodos activos.⁸⁸

Figura 9. **Proceso convencional de aireación prolongada**



Fuente: LUNA MARTÍNEZ, María Selene. *Estudio del tratamiento de aireación prolongada para aguas residuales utilizando como matriz agua de mar.* p. 24.

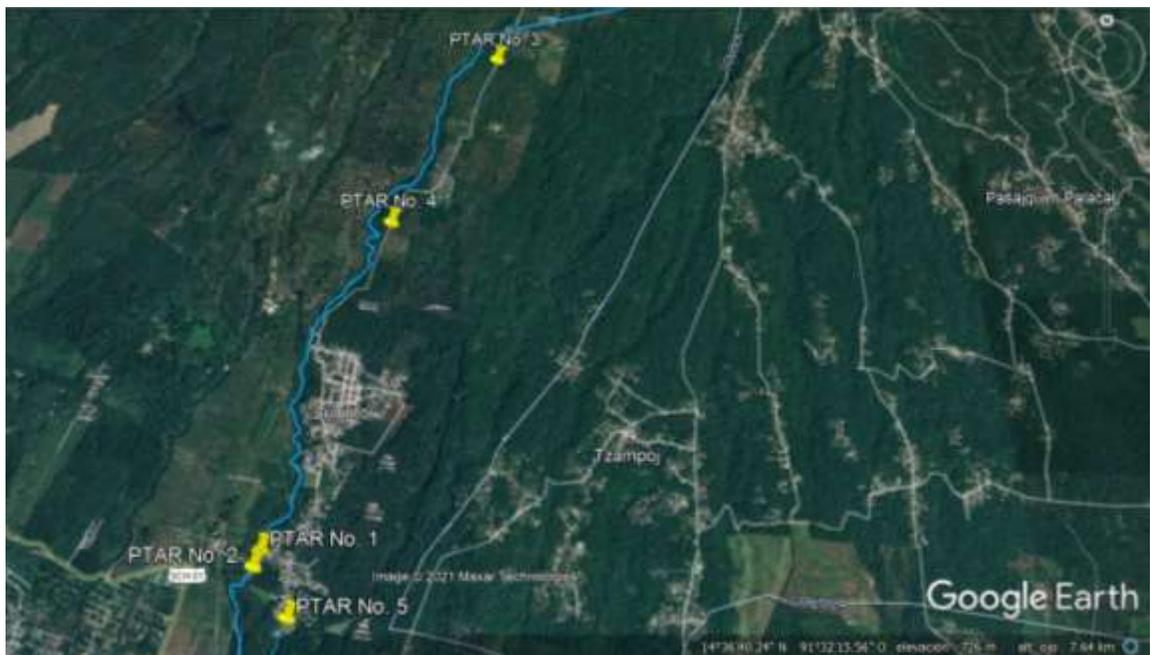
⁸⁸ LUNA MARTÍNEZ, María Selene. *Estudio del tratamiento de aireación prolongada para aguas residuales utilizando como matriz agua de mar.* p. 24.

4. RESULTADOS

4.1. Localización y ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales

El municipio de Zunilito Suchitepéquez solo cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales públicas, estas se ubican en; aldea San Lorencito, aldea Chitá y aldea mi Tierra.

Figura 10. Localización de plantas de tratamiento de aguas residuales



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth Pro.

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

No.	Lugar	Latitud	Longitud
1	Aldea San Antonio	14°36'09.9"N	91°30'50.9"W
2	Aldea Mi Tierra	14°36'06.6"N	91°30'52.1"W
3	Aldea San Lorencito	14°38'09.0"N	91°30'01.6"W
4	Aldea Chitá	14°37'24.8"N	91°30'26.5"W
5	Aldea Mi Tierra – Sector rastro municipal	14°35'56.5"N	91°30'44.5"W

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

4.2. Descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes

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

4.2.1. Descripción PTAR No. 1 de aldea San Antonio

La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para un caudal de 146,56 m³/día, dispone de un espacio de 159,54 m². Este sistema de tratamiento fue construido hace aproximadamente 15 años por el INFOM. Diseñada originalmente por un pretratamiento de concreto, un sedimentador primario, un filtro percolador, equipado con piedra bola, un sedimentador secundario y paralelo a un patio de secado de lodos.

Actualmente tiene modificaciones, en los cuales se sustituyó el filtro percolador por dos reactores biológicos horizontales con capacidad de tratamiento de 1 L/s cada uno. El agua residual es de tipo ordinario. La tecnología utilizada originalmente era aerobia y anaerobia, ahora solamente es anaerobio.

4.2.1.1. Pretratamiento

El pretratamiento es el encargado de remover los sólidos no biodegradables presentes en las aguas residuales, está compuesto por una caja de registro, un canal de demasías con baipás, un canal de rejas, desarenador y trampa de grasas, todos estos elementos construidos en un solo bloque de concreto. El agua con la carga orgánica contaminante se conduce aquí hacia el sistema de tratamiento primario por gravedad.

4.2.1.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario está compuesto por un sedimentador primario el cual está diseñado para reducir sólidos en suspensión del 40 % y reducción de DBO5 del 25 %.

4.2.1.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario está compuesto por un sistema de tratamiento de agua aerobio que utiliza cultivos fijos no sumergidos, es decir un filtro percolador, construido por piezas de plástico, donde se desarrolla y adhiere un cultivo bacteriano llamado bio-película. El agua residual pretratada o decantada es rociada sobre el filtro, entrando en contacto con las bacterias que degradan la contaminación.

4.2.1.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se encuentra equipado con un sedimentador secundario, fabricado en polietileno industrial, en el sedimentador secundario los sólidos biológicos se separan por sedimentación o gravedad.

En la actualidad le agregaron dos reactores biológicos horizontales en fibra de vidrio con capacidad de tratamiento de 1 L/s y con esto sustituyendo el filtro percolador.

Figura 11. PTAR No. 1 aldea San Antonio



Fuente: Aldea San Antonio, Zunilito, Suchitepéquez.

4.2.2. Descripción PTAR No. 2 de aldea Mi Tierra

La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para un caudal de 133,54 m³/día, dispone de un espacio de 623,96 m², atiende a una población de 900 habitantes, el agua residual es de tipo ordinario, la tecnología utilizada es anaerobia, consta de un pretratamiento construido en concreto y una serie de reactores anaerobios de flujo ascendente modulares fabricadas con contenedores fabricados en polietileno industrial modificados y un sistema de humedal superficial, la planta de tratamiento de aguas residuales fue construida en el año 2019 según la información brindada por el operador.

Figura 12. PTAR No. 2 de aldea Mi Tierra



Fuente: Aldea Mi Tierra, Zunilito, Suchitepéquez.

4.2.2.1. Pretratamiento

El pretratamiento es el encargado de remover los sólidos no biodegradables presentes en las aguas residuales, está compuesto por una caja de registro, un canal de demasías con baipás, un canal de rejas, desarenador y trampa de grasas, todos estos elementos construidos en un solo bloque de concreto. El agua con la carga orgánica contaminante se conduce aquí hacia el sistema de tratamiento primario por gravedad.

4.2.2.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario está compuesto por dos reactores tipo PSS-STARUASB-60.80 de 2,60 metros de diámetro y 5,00 metros de profundidad, en este equipo se produce una separación de los gases líquidos y sólidos, así como un doble tratamiento, sedimentación y digestión de lodos. En los reactores se realiza un proceso anaerobio, denominado también digestión alcalina anaerobia de lodos. En el proceso de estabilización el lodo cambia tanto su consistencia como su contenido. El producto es un lodo estable, fácil para secar en el patio de secado de lodos, el proceso de digestión destruye algunas de las bacterias patógenas.

4.2.2.3. Tratamiento secundario

Para el tratamiento secundario de las aguas residuales se tiene equipado con dos biofiltros tipo PSS-STARBF-60.30 de 2,60 metros de diámetro y 2,00 metros de profundidad, conformado con un medio filtrante sintético de diseño especial, en este medio se desarrollan microorganismos para realizar la depuración biológica del agua, para luego drenar los lodos hacia el patio de

secado de lodos. En este proceso se realiza una degradación de la carga orgánica no menor de un 70 %.

4.2.2.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se encuentra equipado con dos sedimentadores tipo PSS-STARS-60.30 de 2,03 metros de diámetro y 3,50 metros de profundidad, fabricado en polietileno industrial. En esta unidad se logra la clarificación final del agua mediante el proceso físico de sedimentación, en esta unidad se va acumulando siempre una pequeña cantidad de lodos, y luego se transporta hacia el patio de secado de lodos al igual que el equipo anterior y el agua ya clarificada se conducirá para su depuración final hacia el humedal superficial.

4.2.2.5. Tratamiento complementario

Para su tratamiento final el sistema de tratamiento cuenta con un humedal superficial con plantas acuáticas, en el cual remueve carga orgánica (DBO5 por lo menos un 10 % adicional al equipo) y principalmente nutrientes presentes en las aguas residuales. Este humedal está construido de block, tiene 1,00 metros de profundidad, 3,00 metros de ancho y 9,80 metros de largo, el operador siembra plantas acuáticas de la región para hacer el tratamiento. También cuenta con un tanque de contacto y un dosificador de hipoclorito de calcio para llevar los microorganismos patógenos a niveles debajo de los límites máximos permisibles

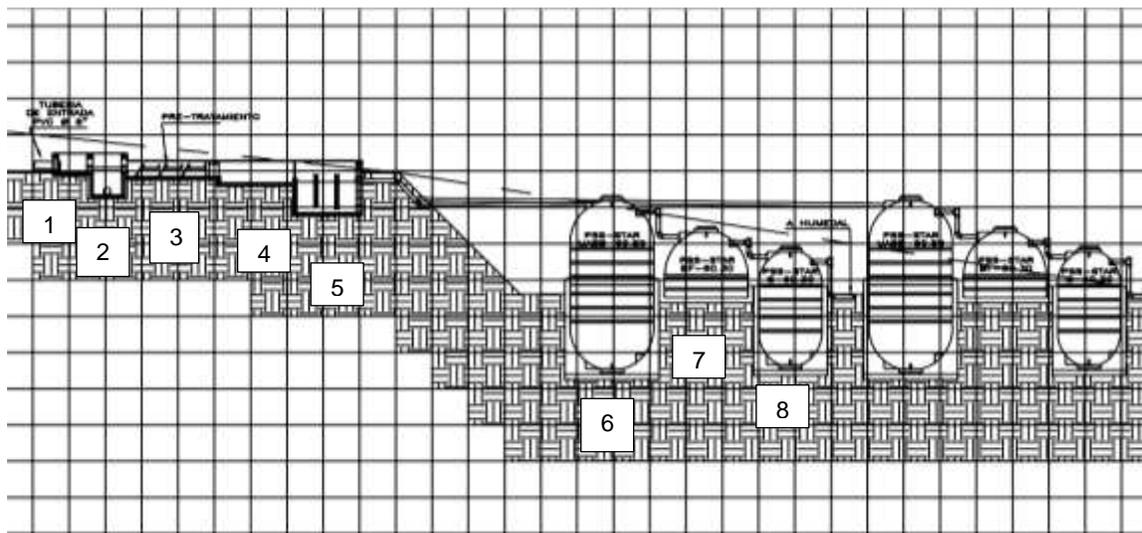
4.2.2.6. Patio de secado de lodos

Esta unidad está diseñada para que los lodos generados en el sistema de tratamiento sean expuestos y garantizar el proceso de secado, está construido

de block, tiene 1,20 metros de profundidad, 3,00 metros de ancho y 4,00 metros de largo, techada con una lámina transparente.

El proceso de extracción de lodos consiste en dejar salir los lodos de cada equipo hasta el nivel indicado (0,30 m) en el patio de secado, al momento de estar drenando lodos se les aplica cal hidratada con el objetivo de desinfectarlos y estabilizarlos a una razón de 10 libras. Cuando los lodos se encuentran deshidratados y estabilizados se procede a retirarlos del patio de secado y son expuestos en sacos o bolsas.

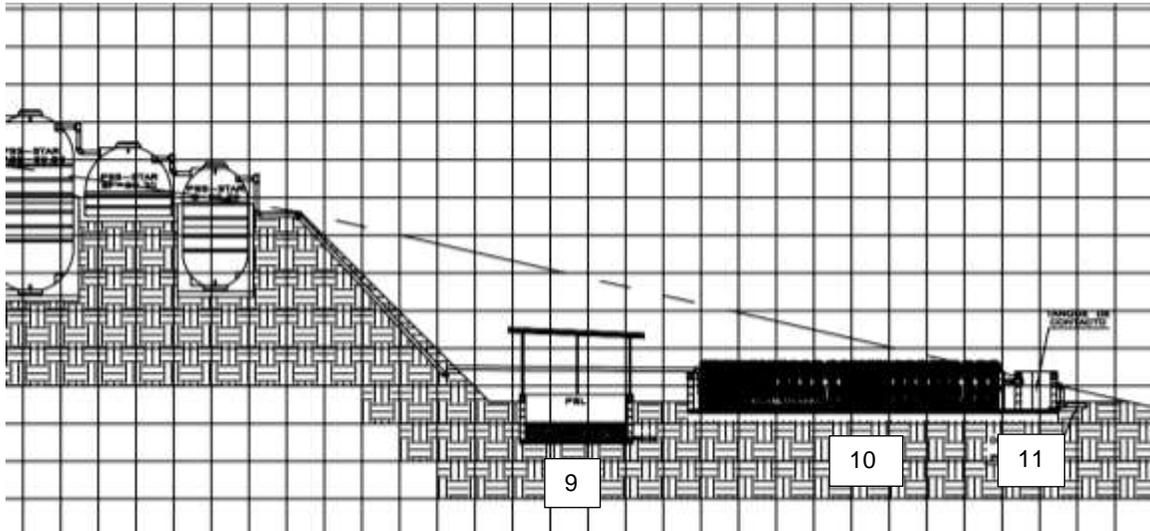
Figura 13. Componentes de la planta de tratamiento



1. Caja de Registro, 2. Canal de Demasías, 3. Canal de Rejas, 4. Desarenador, 5. Trampa de Grasas, 6. Reactor, 7. Biofiltro, 8. Sedimentador

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 14. Componentes de la planta de tratamiento



9. Patio de secado de lodos, 10. Humedal, 11. Tanque de contacto.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.2.3. Descripción PTAR No. 3 de aldea San Lorencito

La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para un caudal de 120 m³/día, dispone de un espacio de 919,14 m², atiende a una población de 1 200 habitantes, el agua residual es de tipo ordinario, la tecnología utilizada es anaerobia, consta de un pretratamiento construido en concreto y una serie de reactores anaerobios de flujo ascendente modulares fabricadas con contenedores fabricados en polietileno industrial modificados y un sistema de humedal superficial, la planta de tratamiento de aguas residuales fue construida en el año 2017 según la información brindada por el operador.

Figura 15. PTAR No. 3 de aldea San Lorencito



Fuente: Aldea San Lorencito, Zunilito, Suchitepéquez.

4.2.3.1. Pretratamiento

El pretratamiento es el encargado de remover los sólidos no biodegradables presentes en las aguas residuales, está compuesto por una caja de registro, un canal de demasías con baipás, un canal de rejillas, desarenador y trampa de grasas, todos estos elementos construidos en un solo bloque de concreto. El agua con la carga orgánica contaminante se conduce aquí hacia el sistema de tratamiento primario por gravedad.

4.2.3.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario está compuesto por un reactor tipo PSS-STAR UASB-60.80 de 2,60 metros de diámetro y 5,60 metros de profundidad, en este equipo se produce una separación de los gases líquidos y sólidos, así como un doble tratamiento, sedimentación y digestión de lodos. En los reactores se realiza un proceso anaerobio, denominado también digestión alcalina anaerobia de lodos. En el proceso de estabilización el lodo cambia tanto su consistencia como su contenido. El producto es un lodo estable, fácil para secar en el patio de secado de lodos, el proceso de digestión destruye algunas de las bacterias patógenas

4.2.3.3. Tratamiento secundario

Para el tratamiento secundario de las aguas residuales se tiene equipada con un biofiltro tipo PSS-STARBF-60.30 de 2,60 metros de diámetro y 2 metros de profundidad, conformado con un medio filtrante sintético de diseño especial, en este medio se desarrollan microorganismos para realizar la depuración biológica del agua, para luego drenar los lodos hacia el patio de secado de lodos. En este proceso se realiza una degradación de la carga orgánica no menor de un 70 %.

4.2.3.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se encuentra equipado con un sedimentador tipo PSS-STARS-60.30 de 2,00 metros de diámetro y 3,55 metros de profundidad, fabricado en polietileno industrial, En esta unidad se logra la clarificación final del agua mediante el proceso físico de la sedimentación, en esta unidad se va acumulando siempre una pequeña cantidad de lodos, y luego se transporta hacia

el patio de secado de lodos al igual que el equipo anterior y el agua ya clarificada se conducirá para su depuración final hacia el humedal superficial.

4.2.3.5. Tratamiento complementario

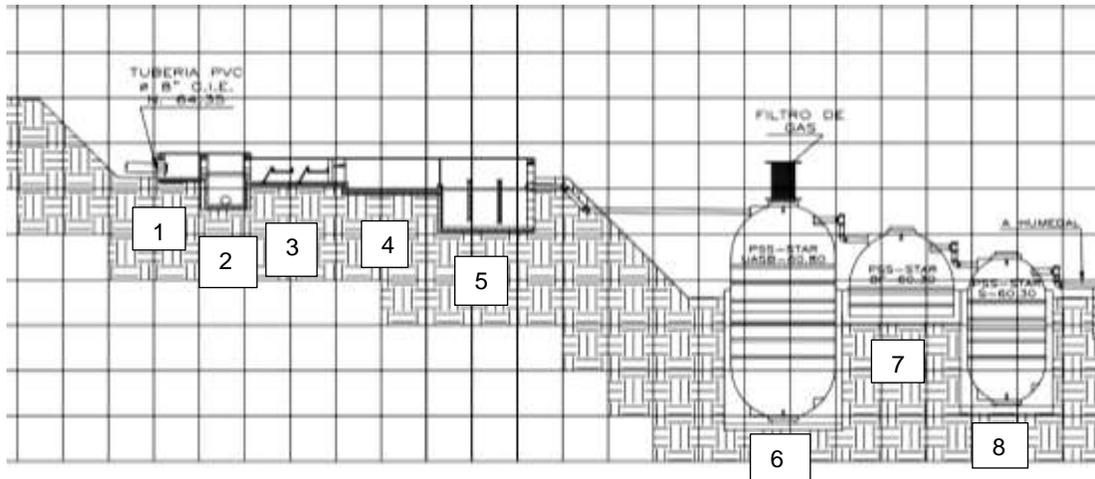
Para su tratamiento final el sistema de tratamiento cuenta con un humedal superficial con plantas acuáticas, en el cual remueve carga orgánica (DBO5 por lo menos un 10 % adicional al equipo) y principalmente nutrientes presentes en las aguas residuales. Este humedal está construido de block, tiene 1,30 metros de profundidad, 3,30 metros de ancho y 13,25 metros de largo, el operador siembra plantas acuáticas de la región para hacer el tratamiento. También cuenta con un tanque de contacto y un dosificador de hipoclorito de calcio para llevar los microorganismos patógenos a niveles debajo de los límites máximos permisibles.

4.2.3.6. Patio de secado de lodos

Esta unidad está diseñada para que los lodos generados en el sistema de tratamiento sean expuestos y garantizar el proceso de secado, está construido de block, tiene 1,00 metros de profundidad, 2,30 metros de ancho y 4,30 de largo, techada con una lámina transparente.

El proceso de extracción de lodos consiste en dejar salir los lodos de cada equipo hasta el nivel indicado (0,30 m) en el patio de secado, al momento de estar drenando lodos se les aplica cal hidratada con el objetivo de desinfectarlos y estabilizarlos a una razón de 10 libras. Cuando los lodos se encuentran deshidratados y estabilizados se procede a retirarlos del patio de secado y son expuestos en sacos o bolsas.

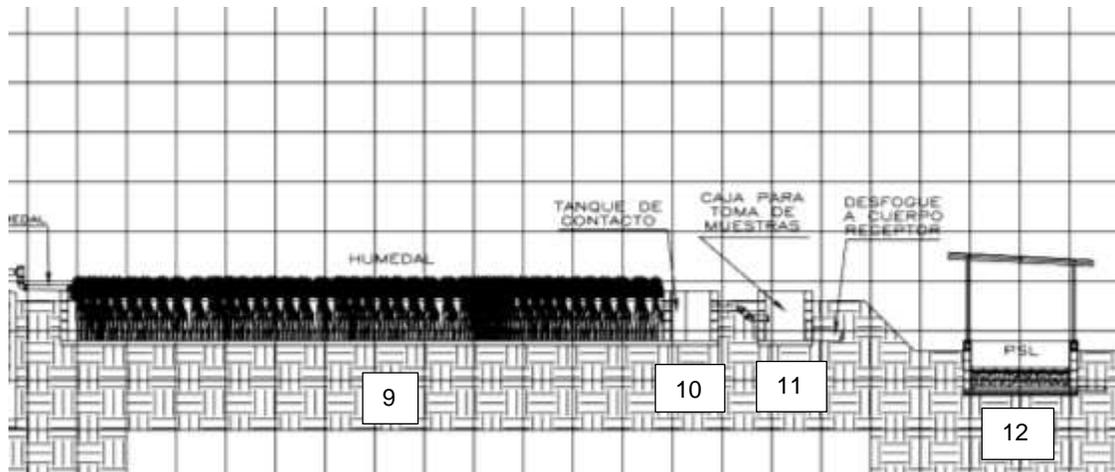
Figura 16. Componentes de la planta de tratamiento



1. Caja de Registro, 2. Canal de Demasías, 3. Canal de Rejas, 4. Desarenador, 5. Trampa de Grasas, 6. Reactor, 7. Biofiltro, 8. Sedimentador

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 17. Componentes de la planta de tratamiento



9. Humedal, 10. Tanque de contacto, 11. Caja para toma de muestras, 12. Patio de secado de lodos.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.2.4. Descripción PTAR No. 4 de aldea Chitá

La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para un caudal de 115 m³/día, dispone de un espacio de 873,62 m², atiende a una población de 850 habitantes, el agua residual es de tipo ordinario. la tecnología utilizada es anaerobia, consta de un pretratamiento construido en concreto y una serie de reactores anaerobios de flujo ascendente modulares fabricadas con contenedores fabricados en polietileno industrial modificados y un sistema de humedal superficial, la planta de tratamiento de aguas residuales fue construida en el año 2016 según la información brindada por el operador.

Figura 18. PTAR No.4 de aldea Chitá



Fuente: Aldea Chitá, Zunilito, Suchitepéquez.

4.2.4.1. Pretratamiento

El pretratamiento es el encargado de remover los sólidos no biodegradables presentes en las aguas residuales, está compuesto por una caja de registro, un canal de demasías con baipás, un canal de rejás, desarenador y trampa de grasas, todos estos elementos construidos en un solo bloque de concreto. El agua con la carga orgánica contaminante se conduce aquí hacia el sistema de tratamiento primario por gravedad.

4.2.4.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario está compuesto por dos reactores tipo PSS-STARUASB-60.80 de 2,60 metros de diámetro y 5,60 metros de profundidad, en este equipo se produce una separación de los gases líquidos y sólidos, así como un doble tratamiento, sedimentación y digestión de lodos. En los reactores se realiza un proceso anaerobio, denominado también digestión alcalina anaerobia de lodos. En el proceso de estabilización el lodo cambia tanto su consistencia como su contenido. El producto es un lodo estable, fácil para secar en el patio de secado de lodos, el proceso de digestión destruye algunas de las bacterias patógenas.

4.2.4.3. Tratamiento secundario

Para el tratamiento secundario de las aguas residuales se tiene equipada con dos biofiltros tipo PSS-STARBF-60.30 de 2,60 metros de diámetro y 2,00 metros de profundidad, conformado con un medio filtrante sintético de diseño especial, en este medio se desarrollan microorganismos para realizar la depuración biológica del agua, para luego drenar los lodos hacia el patio de

secado de lodos. En este proceso se realiza una degradación de la carga orgánica no menor de un 70 %.

4.2.4.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se encuentra equipado con dos sedimentadores tipo PSS-STARS-60.30 de 2,00 metros de diámetro y 3,55 metros de profundidad, fabricado en polietileno industrial, En esta unidad se logra la clarificación final del agua mediante el proceso físico de la sedimentación, en esta unidad se va acumulando siempre una pequeña cantidad de lodos, y luego se transporta hacia el patio de secado de lodos al igual que el equipo anterior y el agua ya clarificada se conducirá para su depuración final hacia el humedal superficial.

4.2.4.5. Tratamiento complementario

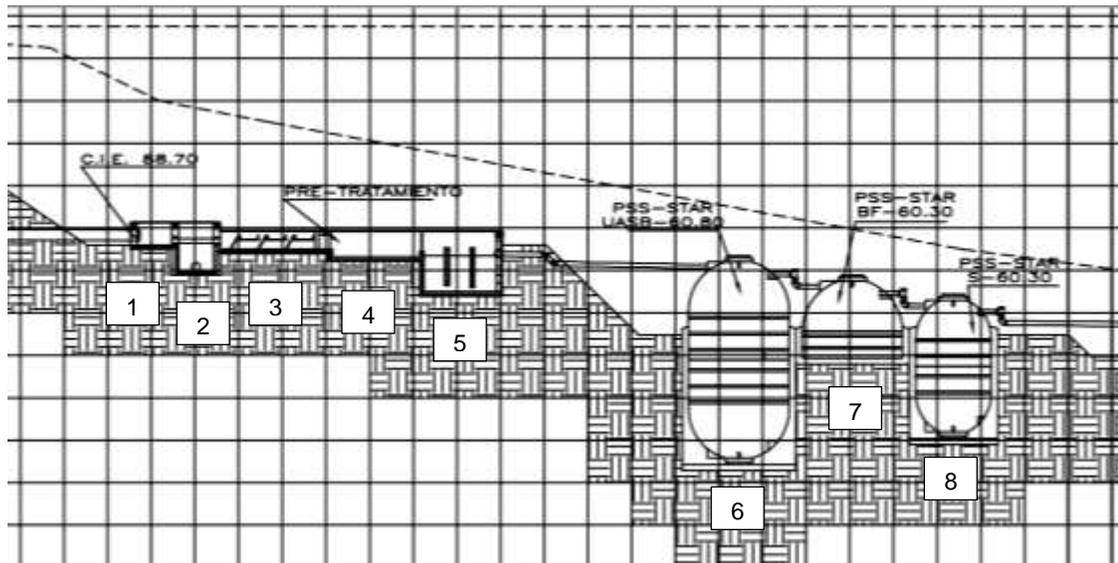
Para su tratamiento final el sistema de tratamiento cuenta con un humedal superficial con plantas acuáticas, en el cual remueve carga orgánica (DBO5 por lo menos un 10 % adicional al equipo) y principalmente nutrientes presentes en las aguas residuales. Este humedal está construido en block, tiene 1,30 metros de profundidad, 3,00 metros de ancho y 9,80 metros de largo, el operador siembra plantas acuáticas de la región para hacer el tratamiento. También cuenta con un tanque de contacto y un dosificador de hipoclorito de calcio para llevar los microorganismos patógenos a niveles debajo de los límites máximos permisibles.

4.2.4.6. Patio de secado de lodos

Esta unidad está diseñada para que los lodos generados en el sistema de tratamiento sean expuestos y garantizar el proceso de secado, está construido de block, tiene 1,20 metros de profundidad, 3,00 metros de ancho y 4,00 metros de largo, techada con una lámina transparente.

El proceso de extracción de lodos consiste en dejar salir los lodos de cada equipo hasta el nivel indicado (0,30 m) en el patio de secado, al momento de estar drenando lodos se les aplica cal hidratada con el objetivo de desinfectarlos y estabilizarlos a una razón de 10 libras. Cuando los lodos se encuentran deshidratados y estabilizados se procede a retirarlos del patio de secado y son expuestos en sacos o bolsas.

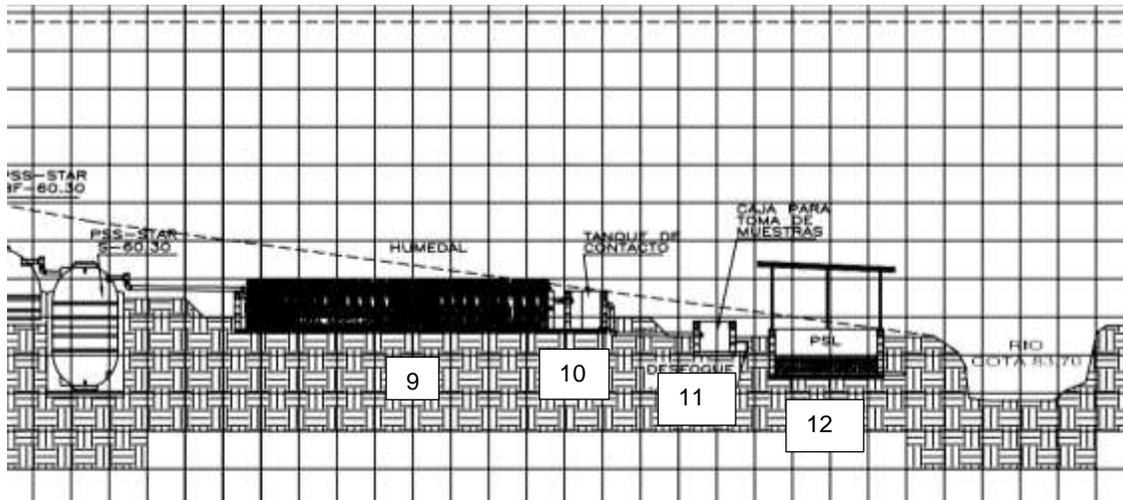
Figura 19. Componentes de la planta de tratamiento



1. Caja de Registro, 2. Canal de Demasías, 3. Canal de Rejas, 4. Desarenador, 5. Trampa de Grasas, 6. Reactor, 7. Biofiltro, 8. Sedimentador

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 20. Componentes de la planta de tratamiento



9. Humedal, 10. Tanque de contacto, 11. Caja para toma de muestras, 12. Patio de secado de lodos.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.2.5. Descripción PTAR No. 5 de aldea Mi Tierra – Sector rastro municipal

La planta de tratamiento de aguas residuales está diseñada para un caudal de 432 m³/día, dispone de un espacio de 288,50 m², atiende a una población de 3 500 habitantes, el agua residual es de tipo ordinario, la tecnología utilizada es anaerobia, consta de cinco reactores biológicos anaerobios tipo PSS-STAR UASB-60.70 fabricados en poliéster reforzado con fibra de vidrio, cinco biofiltros tipo PSS-STAR BF-60.40, cinco sedimentadores tipo PSS-STAR S-60.30 y un tanque vertical para sistema de cloración, todos estos fabricados también en poliéster reforzado con fibra de vidrio. El agua residual ya tratada se descargará directamente al río Chitá. Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales no está en funcionamiento porque aún no está conectada la red de drenaje que conduce el agua residual a este sistema.

Figura 21. PTAR aldea Mi Tierra - Sector rastro municipal



Fuente: Aldea Mi Tierra, Zunilito, Suchitepéquez.

4.2.5.1. Pretratamiento

El pretratamiento es el encargado de remover los sólidos no biodegradables presentes en las aguas residuales, está compuesto por una caja de registro, un canal de demasías con baipás, un canal de rejillas, desarenador y trampa de grasas, todos estos elementos construidos en un solo bloque de concreto. El agua con la carga orgánica contaminante se conduce aquí hacia el sistema de tratamiento primario por gravedad.

4.2.5.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario está compuesto por cinco reactores biológicos anaerobios tipo PSS-STAR UASB-60.70 de 3,35 metros de diámetro y 3,70 metros de profundidad, en este equipo se produce una separación de los gases líquidos y sólidos, así como un doble tratamiento, sedimentación y digestión de lodos. En los reactores se realiza un proceso anaerobio, denominado también digestión alcalina anaerobia de lodos. En el proceso de estabilización el lodo cambia tanto su consistencia como su contenido. El producto es un lodo estable, fácil para secar en el patio de secado de lodos, el proceso de digestión destruye algunas de las bacterias patógenas

4.2.5.3. Tratamiento secundario

Para el tratamiento secundario de las aguas residuales se tiene equipada con dos biofiltros tipo PSS-STAR BF-60.40 de 2,60 metros de diámetro y 2,40 metros de profundidad, conformado con un medio filtrante sintético de diseño especial, en este medio se desarrollan microorganismos para realizar la depuración biológica del agua, para luego drenar los lodos hacia el patio de secado de lodos. En este proceso se realiza una degradación de la carga orgánica no menor de un 70 %.

4.2.5.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario se encuentra equipado con dos sedimentadores tipo PSS-STAR S-60.30 de 2,03 metros de diámetro y 3,40 metros de profundidad, fabricado en polietileno industrial, En esta unidad se logra la clarificación final del agua mediante el proceso físico de la sedimentación, en esta unidad se va acumulando siempre una pequeña cantidad de lodos, y luego se transporta hacia

el patio de secado de lodos al igual que el equipo anterior y el agua ya clarificada se conducirá para su depuración final hacia el humedal superficial.

4.2.5.5. Tratamiento complementario

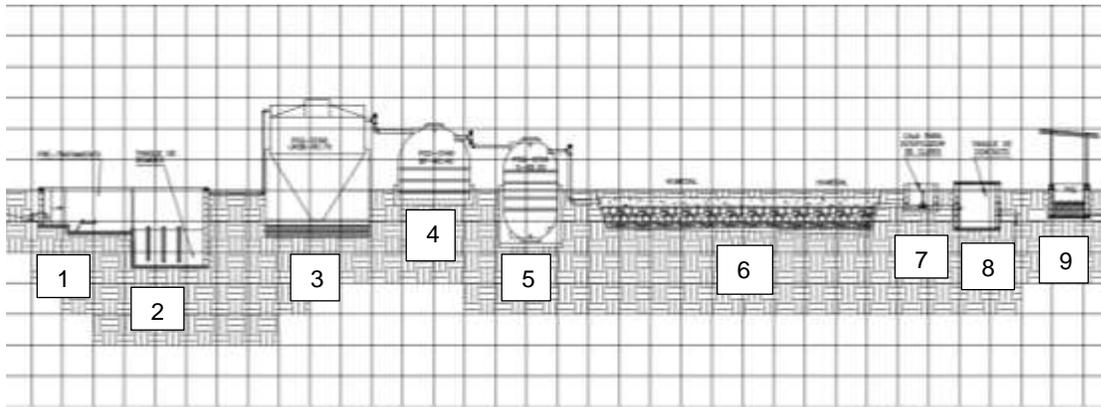
Para su tratamiento final el sistema de tratamiento cuenta con un humedal superficial con plantas acuáticas, en el cual remueve carga orgánica (DBO5 por lo menos un 10 % adicional al equipo) y principalmente nutrientes presentes en las aguas residuales. Este humedal está construido en block, tiene 1,30 metros de profundidad, 2,30 metros de ancho y 9,50 metros de largo, el operador siembra plantas acuáticas de la región para hacer el tratamiento. También cuenta con un tanque de contacto y un dosificador de hipoclorito de calcio para llevar los microorganismos patógenos a niveles debajo de los límites máximos permisibles.

4.2.5.6. Patio de secado de lodos

Esta unidad está diseñada para que los lodos generados en el sistema de tratamiento sean expuestos y garantizar el proceso de secado, está construido de block, tiene 1,20 metros de profundidad, 1,30 metros de ancho y 6,30 metros de largo, techada con una lámina transparente.

El proceso de extracción de lodos consiste en dejar salir los lodos de cada equipo hasta el nivel indicado (0,30 m) en el patio de secado, al momento de estar drenando lodos se les aplica cal hidratada con el objetivo de desinfectarlos y estabilizarlos a una razón de 10 libras. Cuando los lodos se encuentran deshidratados y estabilizados se procede a retirarlos del patio de secado y son expuestos en sacos o bolsas.

Figura 22. Componentes de la PTAR



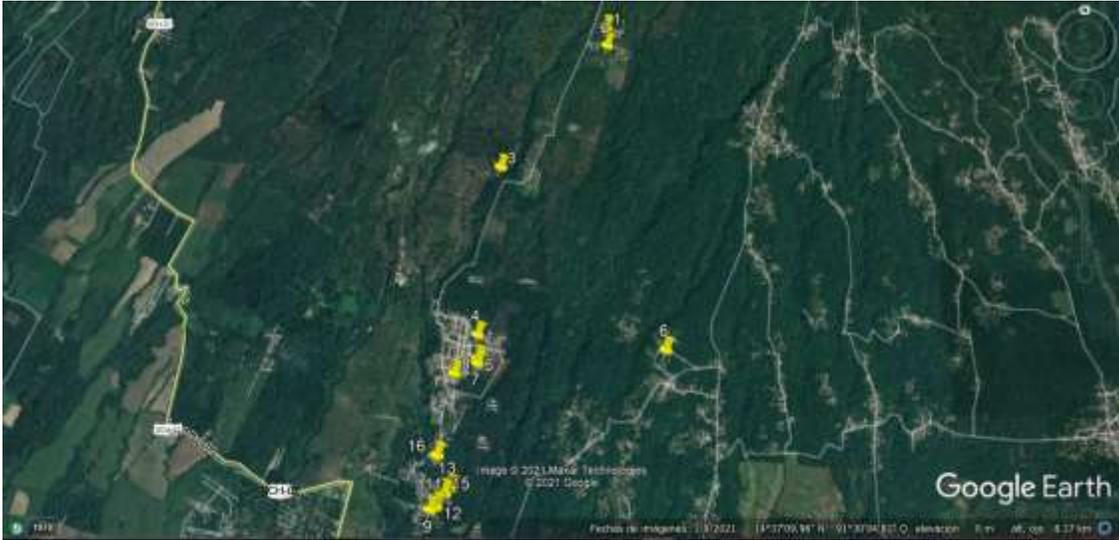
1. Pre-tratamiento, 2. Tanque de bombeo, 3. Reactor, 4. Biofiltro, 5. Sedimentador, 6. Humedal, 7. Caja para dosificador de cloro, 8. Tanque de contacto, 9. Patio de secado de lodos.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.3. Localización y ubicación de los puntos de descarga de aguas residuales

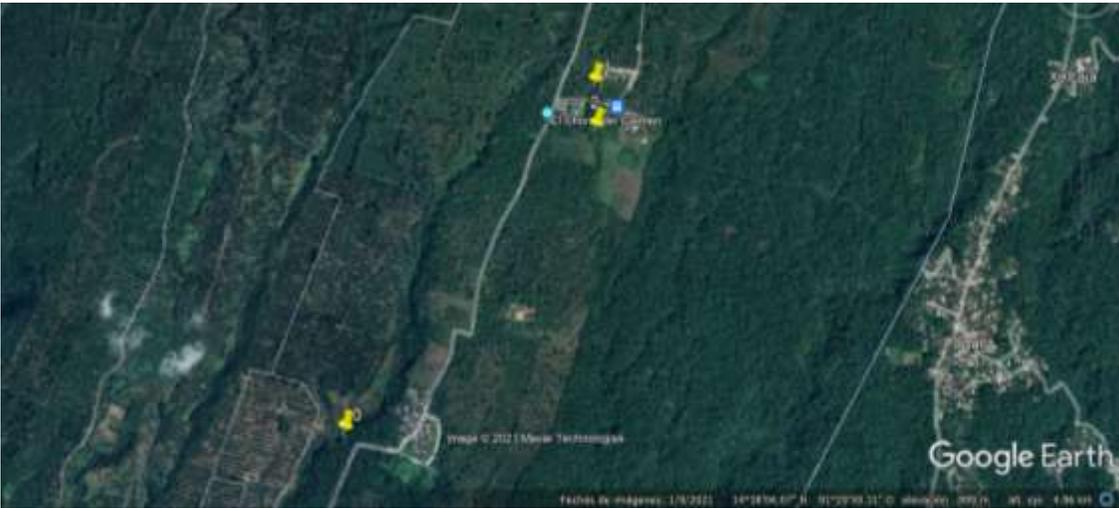
Los puntos de descargas de aguas residuales sin tratar en el municipio de Zunilito están ubicados en quince puntos de las aldeas: San Antonio, Mi Tierra, San Lorencito y Chitá, utilizando como cuerpo receptor los ríos Ixconá, Chitá, Sisito y las plantas de tratamiento del municipio.

Figura 23. Localización de los puntos de descarga de aguas residuales



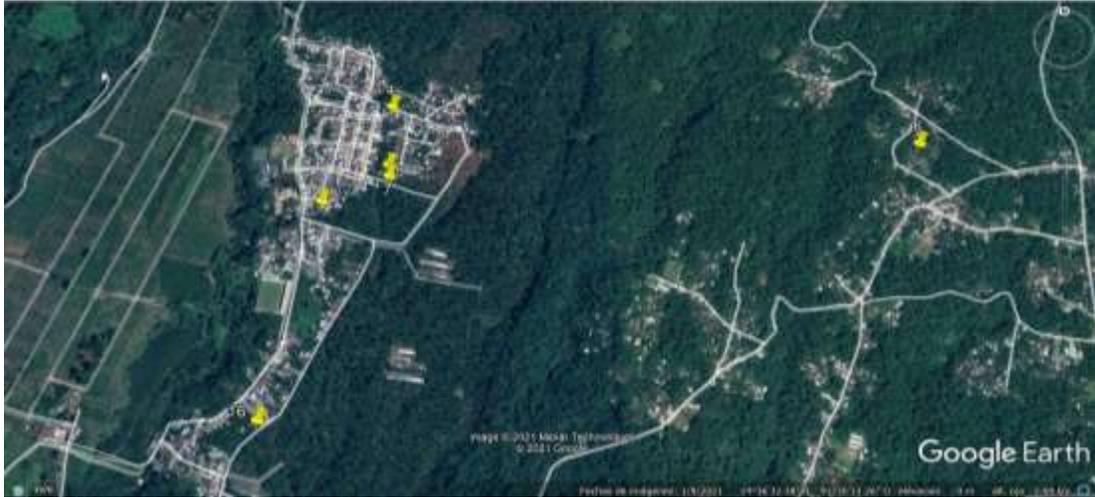
Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth Pro.

Figura 24. Acercamiento parte superior de localización de puntos de descargas de aguas residuales



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth Pro.

Figura 25. Acercamiento parte intermedia de localización de puntos de descargas de aguas residuales



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth Pro.

Figura 26. Acercamiento de parte inferior de localización de puntos de descarga de aguas residuales



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth Pro.

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

NO.	COMUNIDAD	LATITUD N	LONGITUD W
1	San Lorencito	14°38'22.12" N	91°29'51.73" W
2	San Lorencito	14°38'16.19" N	91°29'51.56" W
3	Aldea Chitá	14°37'37.41" N	91°30'24.21" W
4	Aldea San Antonio	14°36'47.59" N	91°30'30.24" W
5	Aldea San Antonio	14°36'40.71" N	91°30'30.24" W
6	Aldea San Antonio	14°36'43.25" N	91°29'35.52" W
7	Cabecera Municipal	14°36'39.52" N	91°30'30.15" W
8	Aldea mi Tierra	14°35'59.67" N	91°30'42.68" W
9	Aldea mi Tierra	14°36'5.54" N	91°30'36.79" W
10	Aldea mi Tierra	14°36'1.14" N	91°30'41.12" W
11	Aldea mi Tierra	14°36'0.46" N	91°30'41.08" W
12	Aldea mi Tierra	14°36'5.44" N	91°30'37.44" W
13	Aldea mi Tierra	14°36'4.48" N	91°30'38.52" W
14	Aldea mi Tierra	14°36'3.62" N	91°30'38.88" W
15	Aldea mi Tierra	14°36'14.16" N	91°30'41.08" W

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

4.4. Descripción de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar

Los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar que son captados por los ríos Ixconá, Sisito, Chitá, son descritos de la siguiente manera:

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

NO .	Ubicación/ente generador	Sector	Ave.	No. descargas	Sitio de descarga	Tipo de agua residual	Origen del agua residual
1	San Lorencito	1	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
2	San Lorencito	3	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
3	Aldea Chitá	-	-	1	Río Chitá	Ordinario	Doméstica
4	Aldea San Antonio	1	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
5	Aldea San Antonio	1	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
6	Aldea San Antonio	1	-	1	Río Sisito	Ordinario	Doméstica
7	Cabecera Municipal	-	3era .	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
8	Aldea mi Tierra	2	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
9	Aldea mi Tierra	1	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
10	Aldea mi Tierra	Pro copio	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
11	Aldea mi Tierra	La Pollera	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
12	Aldea mi Tierra	Nuevo Amanecer	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
13	Aldea mi Tierra	Callejón 2 NA	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
14	Aldea mi Tierra	Callejón 1 NA	-	1	Río Ixconá	Ordinario	Doméstica
15	Aldea mi Tierra	Sector Gradas Mandarina I	-	1	Río Chitá	Ordinario	Doméstica

Continuación de la tabla III.

No.	Volumen de descarga	Coordenadas geográficas	Horarios de descarga	Tipo de drenaje	¿Cuenta con caract. de lodos?	¿Posee caract. de aguas residuales?
1	19L/41.36Seg	14°38'22.12" N 91°29'51.73" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
2	19L/29.79Seg	14°38'16.19" N 91°29'51.56" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
3	19L/8.69Seg	14°37'37.41" N 91°30'24.21" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
4	19L/16.40Seg	14°36'47.59" N 91°30'30.24" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
5	19L/6.72Seg	14°36'40.71" N 91°30'30.24" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
6	19L/9.63Seg	14°36'43.25" N 91°29'35.52" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
7	19L/10.24Seg	14°36'39.52" N 91°30'30.15" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
8	19L/56.01Seg	14°35'59.67" N 91°30'42.68" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
9	19L/1.86Seg	14°36'5.54" N 91°30'36.79" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
10	19L/4.36Seg	14°36'1.14" N 91°30'41.12" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
11	19L/2.22Seg	14°36'0.46" N 91°30'41.08" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
12	19L/37.43Seg	14°36'5.44" N 91°30'37.44" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
13	19L/50.4Seg	14°36'4.48" N 91°30'38.52" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
14	19.42L/1.42Min	14°36'3.62" N 91°30'38.88" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí
15	19L/11.48Seg	14°36'14.16" N 91°30'41.08" W	24 hrs	Sanitario	Sí	Sí

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 27. Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea San Lorencito



Fuente: elaboración propia, aldea San Lorencito.

Figura 28. Punto de descarga de aguas residuales sin tratar de la aldea Mi Tierra

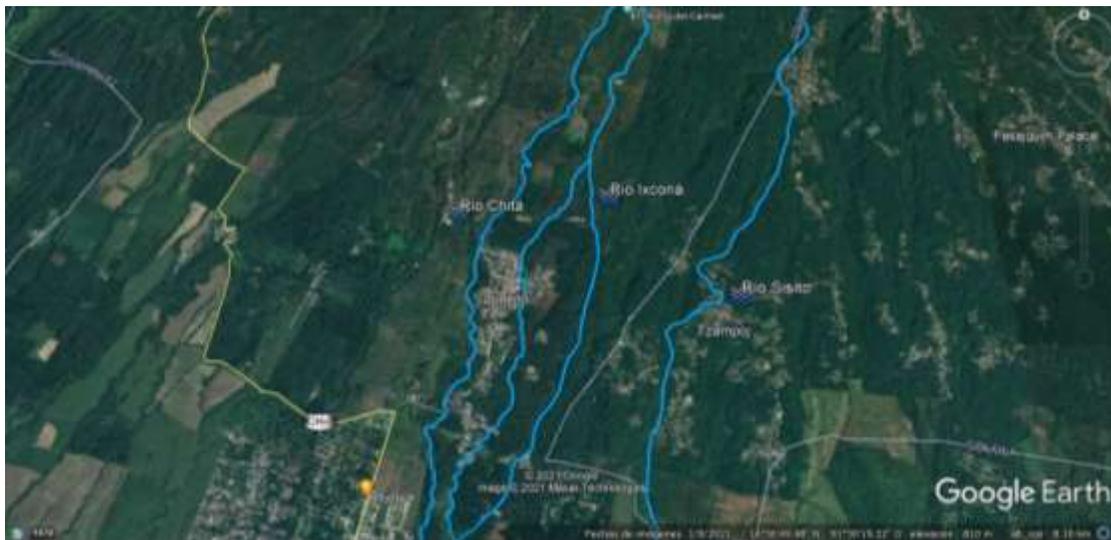


Fuente: elaboración propia, empleando aldea Mi Tierra.

4.5. Identificación de cuerpos receptores

En el municipio de Zunilito, los ríos son utilizados como cuerpos receptores de aguas residuales tratadas y sin tratar. Los ríos son Río Chitá, Sisito e Ixconá.

Figura 29. Identificación de cuerpos receptores de aguas residuales



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth Pro.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales

En el municipio de Zunilito existen cinco plantas de tratamiento de aguas residuales públicas, tres de ellas están en funcionamiento, una deshabilitada y otra no ha iniciado a operar. El municipio no cuenta con plantas de tratamiento privadas.

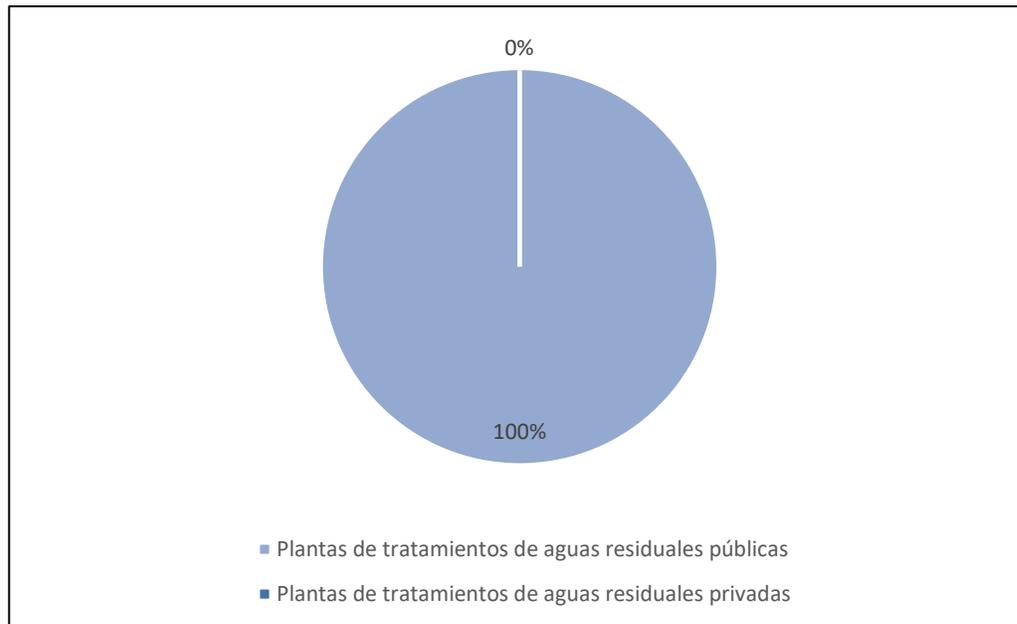
Tabla IV. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales

No.	Descripción	Lugar
1	Planta de tratamiento de aguas residuales	Aldea San Antonio
2	Planta de tratamiento de aguas residuales	Aldea Mi Tierra
3	Planta de tratamiento de aguas residuales	Aldea San Lorencito
4	Planta de tratamiento de aguas residuales	Aldea Chitá
5	Planta de tratamiento de aguas residuales	Aldea Mi Tierra – Sector rastro municipal

Total de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas	Cinco (5)
Total de plantas de tratamiento de aguas residuales privadas	Cero (0)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 30. Plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Según la tabla V, las entidades privadas del municipio no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales. Según la figura 28, el 100 % de las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas en el municipio de Zunilito son públicas, siendo evidente el compromiso que tiene la municipalidad de Zunilito de tratar sus aguas residuales.

5.2. Resumen de Inventario de las plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas por tipo de proceso.

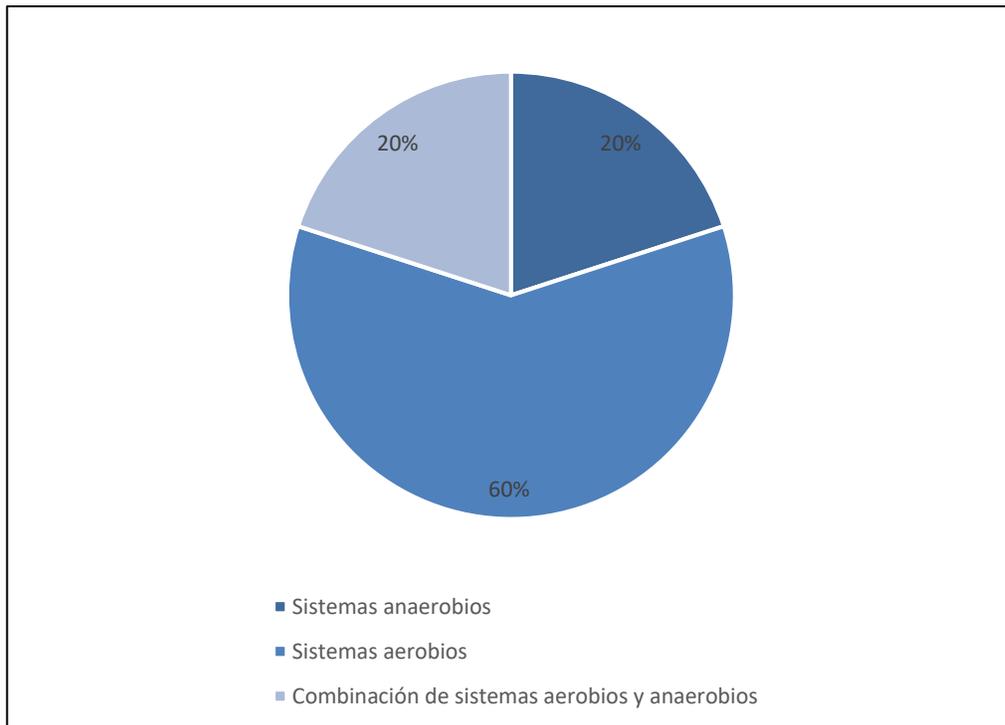
Las cinco plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de Zunilito, Suchitepéquez, se clasificaron por los diferentes tipos de proceso, aerobios, anaerobios y combinación de estos.

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

Sistemas	Tipo de proceso	Lugar	Cantidad
Sistemas anaerobios	pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario.	Aldea Mi Tierra – Sector rastro municipal	1
Sistemas aerobios	Pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y tratamiento complementario	Aldea Mi Tierra, Aldea San Lorencito y Aldea Chitá	3
Combinación de sistemas aerobios y anaerobios	Pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario	Aldea San Antonio	1
Sistemas anaerobios			Uno (1)
Sistemas aerobios			Tres (3)
Combinación de sistemas aerobios y anaerobios			Uno (1)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 31. Clasificación de plantas de tratamiento de aguas residuales públicas y privadas por tipo de proceso



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Según la figura 29, en su mayoría, el 60 % de sistemas de tratamiento utilizados en el municipio de Zunilito son sistemas aerobios, mientras que la misma cantidad de sistemas de tratamiento con un 20 % son anaerobios y combinación de ambos.

5.3. Inventario de los puntos de descarga de aguas residuales

En el municipio de Zunilito existen actualmente un total de quince puntos de descargas de aguas residuales sin tratar, que desfogan directamente a los ríos Ixconá, Chitá y Sisito.

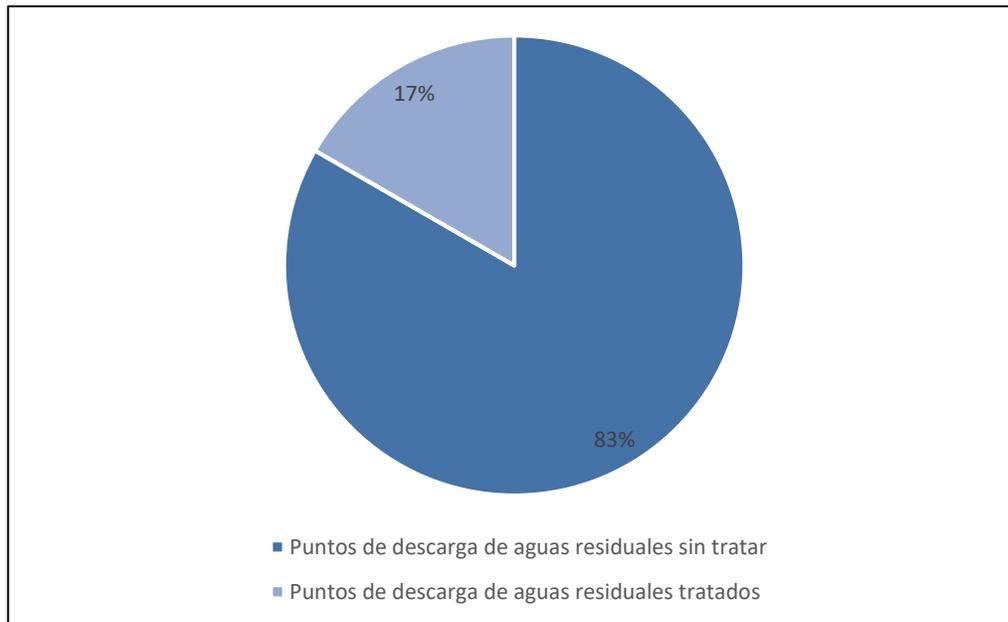
Tabla VI. **Inventario de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratar**

No.	Descripción	Lugar
1	Punto de descarga	San Lorencito
2	Punto de descarga	San Lorencito
3	Punto de descarga	Aldea Chitá
4	Punto de descarga	Aldea San Antonio
5	Punto de descarga	Aldea San Antonio
6	Punto de descarga	Aldea San Antonio
7	Punto de descarga	Cabecera Municipal
8	Punto de descarga	Aldea mi Tierra
9	Punto de descarga	Aldea mi Tierra
10	Punto de descarga	Aldea mi Tierra
11	Punto de descarga	Aldea mi Tierra
12	Punto de descarga	Aldea mi Tierra
13	Punto de descarga	Aldea mi Tierra
14	Punto de descarga	Aldea mi Tierra
15	Punto de descarga	Aldea mi Tierra

Total de puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento	Quince (15)
Total de puntos de descarga de aguas residuales con tratamiento	Tres (3)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 32. Puntos de descarga de aguas residuales en el municipio de Zunilito



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Según la figura 30 se puede observar que la mayor cantidad de puntos de descargas de aguas residuales son sin tratar y solamente el 17 % está recibiendo tratamiento, impactando directamente a los ríos Ixconá, Sisito y Chitá.

5.4. Resultados de la producción de caudales de las aguas residuales por cada ente generador

En el municipio de Zunilito se aforaron los puntos de descarga de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento, a continuación, se muestran los resultados:

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

No.	Lugar	Caudal medio (lps)
Puntos de descarga con tratamiento		
1	Aldea San Antonio	S/I*
2	Aldea Mi Tierra	1,55
3	Aldea San Lorencito	1,39
4	Aldea Chitá	1,33
5	Aldea Mi Tierra - Rastro municipal	5,00
Puntos de descarga sin tratamiento		
6	San Lorencito	0,46
7	San Lorencito	0,64
8	Aldea Chitá	2,19
9	Aldea San Antonio	1,16
10	Aldea San Antonio	2,83
11	Aldea San Antonio	1,97
12	Cabecera Municipal	1,86
13	Aldea mi Tierra	0,34
14	Aldea mi Tierra	10,22
15	Aldea mi Tierra	4,36
16	Aldea mi Tierra	8,56
17	Aldea mi Tierra	0,51
18	Aldea mi Tierra	0,38
19	Aldea mi Tierra	0,22
20	Aldea mi Tierra	1,66

S/I* = Sin información

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

5.5. **Cumplimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales y puntos de descarga existentes en comparación con el reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos**

En el municipio de Zunilito se realizaron estudios técnicos para aguas residuales de acuerdo con el reglamento de las descargas y reúso de aguas

residuales y de la disposición de lodos, para las plantas de tratamiento de aguas residuales, también, para los puntos de descarga sin tratar.

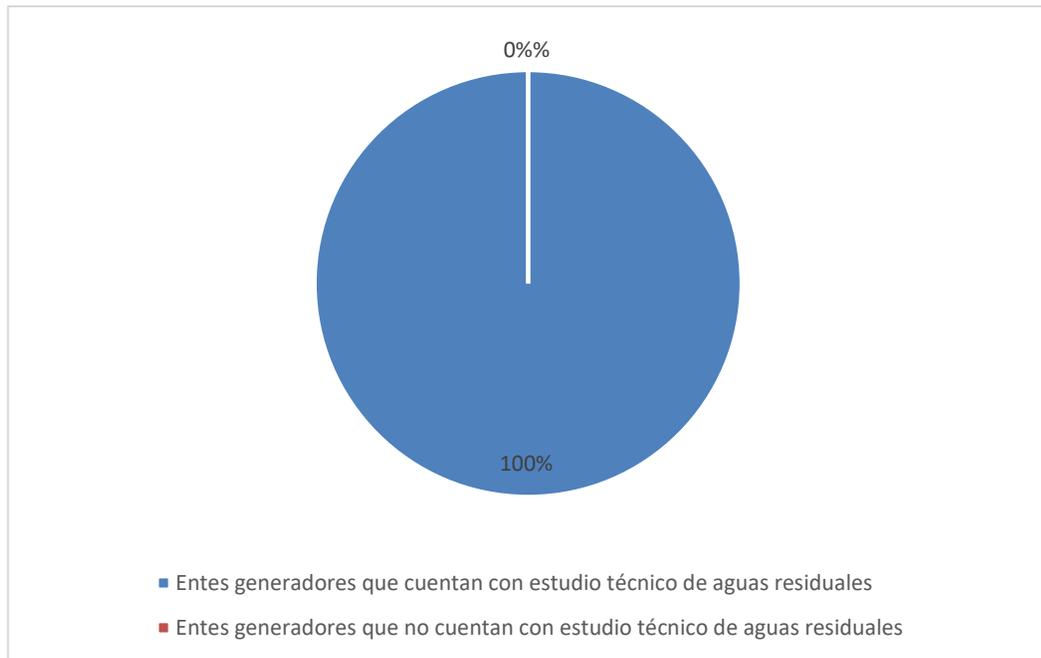
Tabla VIII. Resumen de acuerdo con el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006

No.	Lugar	Estudio técnico de aguas residuales (Acuerdo Gubernativo 236-2006)	¿Cumple con los límites máximos permisibles?
1	Aldea San Antonio	SÍ	NO
2	Aldea Mi Tierra	SÍ	SÍ
3	Aldea San Lorencito	SÍ	SÍ
4	Aldea Chitá	SÍ	SÍ
5	Aldea Mi Tierra - Rastro municipal	SÍ	NO
6	San Lorencito	SÍ	SÍ
7	San Lorencito	SÍ	SÍ
8	Aldea Chitá	SÍ	NO
9	Aldea San Antonio	SÍ	NO
10	Aldea San Antonio	SÍ	SÍ
11	Aldea San Antonio	SÍ	NO
12	Cabecera Municipal	SÍ	SÍ
13	Aldea mi Tierra	SÍ	SÍ
14	Aldea mi Tierra	SÍ	SÍ
15	Aldea mi Tierra	SÍ	SÍ
16	Aldea mi Tierra	SÍ	SÍ
17	Aldea mi Tierra	SÍ	NO
18	Aldea mi Tierra	SÍ	SÍ
19	Aldea mi Tierra	SÍ	SÍ
20	Aldea mi Tierra	SÍ	SÍ

Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que cuentan con estudios técnicos de aguas residuales	Veinte (20)
Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que no cuentan con estudios técnicos de aguas residuales	Cero (0)
Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que cumplen con los límites permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006	Catorce (14)
Total de descargas y plantas de tratamiento de aguas residuales que no cumplen con los límites permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006	Seis (6)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 33. Estudios técnicos realizados de acuerdo con el acuerdo gubernativos 236-2006



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

De acuerdo con la figura 31, en el municipio de Zunilito, el 100 % de los entes generadores de los puntos de descarga de aguas residuales con tratamiento y sin tratamiento cuentan con un estudio técnico de aguas residuales dictado por el Acuerdo Gubernativo 236-2006. En la tabla IX se observa que todos los entes generadores de aguas residuales han realizado dicho estudio técnico, por lo que demuestra el compromiso que tiene la municipalidad de Zunilito con el tratamiento de aguas residuales.

CONCLUSIONES

1. En el municipio de Zunilito del departamento de Suchitepéquez actualmente cuentan con cinco plantas de tratamiento de origen público, ubicadas en aldea San Antonio, aldea Mi Tierra, aldea San Lorencito, aldea Chitá y Rastro Municipal, únicamente tres están en funcionamiento, una deshabilitada y una no ha iniciado su funcionamiento. El municipio no cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales de origen privado.
2. El municipio de Zunilito del departamento de Suchitepéquez cuenta con quince puntos de descarga de aguas residuales que no reciben tratamiento, se ubican en diferentes puntos de Aldea San Lorencito, aldea Chitá, aldea San Antonio, aldea Mi Tierra y cabecera municipal, los cuales no están conectados a un sistema de alcantarillado público son los que vierten sus aguas directamente a los ríos principales, ríos Chitá, Sisito e Ixconá.
3. El municipio de Zunilito del departamento de Suchitepéquez cuenta actualmente con cinco plantas de tratamiento de aguas residuales públicas, tres de ellas cuentan con el mismo principio de tratamiento que comprenden a sistemas anaerobios y cuentan con pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario y tratamiento complementario, una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema anaerobio y aerobio, cuenta con pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, una planta de tratamiento de aguas residuales con sistema anaerobio, cuenta con pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

4. En el municipio de Zunilito del departamento de Suchitepéquez, se contabilizaron cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales que cuentan con un estudio técnico de aguas residuales de acuerdo al Acuerdo Gubernativo 236-2006. También con una planta de tratamiento de aguas residuales que no cuenta con un estudio técnico de aguas residuales, debido a que no ha iniciado su funcionamiento. Según los estudios técnicos realizados se determinó que las cuatro plantas de tratamiento de aguas residuales cumplen con los límites permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

RECOMENDACIONES

1. Aumentar el presupuesto destinado a proyectos sanitarios, que incluya construcción, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales adecuado bajo los estándares de los manuales de operación que presenta cada sistema de tratamiento para garantizar un buen funcionamiento.
2. Establecer un reglamento de aguas y drenajes que contemple la obligatoriedad de que todos los entes generadores deben conectarse al sistema de drenajes para evitar la proliferación de desfogues clandestinos. Así también a las autoridades municipales realizar un control de los puntos de descarga sin tratamiento que no cumplen con lo establecido en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. Velar por la capacitación adecuada del personal que operará y dará mantenimiento a las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de optimizar el funcionamiento y eficiencia de cada sistema de tratamiento.
4. Realizar actualización de los estudios técnicos de aguas residuales según el tiempo estipulado por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, con el fin de proyectar la eficiencia adecuada que beneficia a la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gobierno de Guatemala. *Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, Reglamento de las Descargas y Reúso De Las Aguas Residuales y de la Disposición De los Lodos*. Reglamento. Guatemala: 2006. 24 p.
2. Gobierno de Guatemala. *Decreto 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento Del Medio Ambiente*. Ley, Guatemala: 1986. 12 p.
3. Instituto Nacional de Estadística. *Censos Nacionales XII de Población y VII de Habitación de Guatemala*. Guatemala: 2018. 80 p.
4. METCALF & Eddy, INC. *Ingeniería de aguas residuales; tratamiento, vertido y reutilización*. España: McGraw-Hill, 2000. 120 p.
5. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Situación del agua en Guatemala*. Guatemala: 2005. 32 p.
6. Municipalidad de Zunilito, Suchitepéquez. *Plan de Desarrollo Municipal de Zunilito, Suchitepéquez 2011-2025 (PDM)*. Guatemala: 2010. 70 p.
7. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del agua*. 3a ed. México: Alfaomega, 1999. 273 p.

8. SÁENZ, Jairo Luis. *Diagnóstico e inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales en operación, públicas y privadas del municipio de Mixco, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2016. 105 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Formulario de información de visitas de campo de planta de tratamiento de aguas residuales

	
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE VISITA DE CAMPO PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
FECHA:	HORA:
INFORMACIÓN GENERAL	
Lugar	
Ente generador	
Administración de la planta de tratamiento	
Ente administrador de la planta de tratamiento	
Tipo de agua residual	
Origen del agua residual	
Número de viviendas que trata	
Caudal actual	
Coordenadas geográficas	
Altura sobre el nivel del mar	
Temperatura del agua	
Temperatura ambiente	
Horario de descarga de aguas residuales	
Tipo de drenaje	
Cuerpo receptor	
Área que ocupa	
Topografía del terreno	
¿Se da mantenimiento?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
¿Utiliza energía eléctrica?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
¿Cuenta con caracterización de lodos?	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO

Continuación del apéndice 1.

	
<p>¿Posee caracterización el efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables?</p>	
<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<p>¿Cuenta con estudio técnico?</p>	
<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<p>¿Cuenta con actualización de estudio técnico?</p>	
<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<p>Estado físico</p>	
<input type="checkbox"/> Bueno	<input type="checkbox"/> Malo
<p>¿Se reutiliza el agua del efluente de la PTAR?</p>	
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
<p>Si la respuesta anterior fue si, ¿qué uso se le da al agua tratada?</p>	
<hr/>	
<p>OBSERVACIONES (OLORES, PROBLEMAS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO, OTROS)</p>	
<div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Apéndice 2. **Formulario de información de visitas de campo de puntos de descargas de aguas residuales**

 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL		
FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE VISITA DE CAMPO PUNTOS DE DESCARGAS		
FECHA:	HORA:	
INFORMACIÓN GENERAL		
Lugar		
Cuerpo receptor		
Ente generador		
Origen del agua residual		
Tipo de drenaje		
Caudal actual		
Coordenadas geográficas		
Altura sobre el nivel del mar		
Temperatura del agua		
Temperatura ambiente		
Horario de descarga de aguas residuales		
<p>¿Cuenta con caracterización de lodos? <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p> <p>¿Posee caracterización el efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables? <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO</p>		
OBSERVACIONES		

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la caracterización de las descargas de aguas residuales del municipio de Zunilito, Suchitepéquez

- Informe de análisis de aguas del punto de descarga No. 1 ubicado en Aldea mi Tierra

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS		
Datos Generales:		
<ul style="list-style-type: none"> • Muestra: Agua residual • Ubicación: Aldea mi Tierra, Municipio de Zunilito, Departamento de Suchitepéquez. • Geo-referenciación: 14° 36' 04.48" Norte – 91° 30' 38.52" Oeste • Descripción del punto de muestreo: Descarga Callejón 2. • Nombre del técnico recolector: Fredy García • Persona o Institución que solicita el Análisis: Municipalidad de Zunilito, Suchitepéquez. 		
Muestreo:		
<ul style="list-style-type: none"> • Fecha: 05 de junio de 2017 • Tipo de Muestra: Simple • Tipo de envase: plástico • Volumen: 500 ml para análisis físico-químico y bacteriológico • Método de conservación: Refrigeración a 4°C (cadena de frío) • No. de muestra: 25 - 2017 		
Determinaciones efectuadas en el Laboratorio:		
<u>Características físico-químicas</u>		
Parámetro	Resultado	Límite Máximo Aceptable
pH (Potencial de hidrógeno)	6.19 (20.3 mv)	6 – 9 *
Temperatura	16.3°C	10.0 – 25.0 °C
Material Flotante	Ausente	Ausente *
Sólidos suspendidos	110.0 mg/L	400 mg/L *
DBO	59.4 mg/L	250 mg/L *
DQO	112 mg/L	500 mg/L *
Color	67 UPtCo	1000 UPtCo
*Reglamento de Aguas Residuales		
<u>Características químicas:</u>		
Parámetro	Resultado	Límite Máximo Aceptable
Nitrógeno Total	7.0 mg/L	< 50.0 mg/L *
Fósforo Total	3.74 mg/L	< 30.0 mg/L *
Arsénico	0.01 mg/L	< 0.1 mg/L *
Cromo Hexavalente	0.045 mg/L	< 0.1 mg/L *
Cobre	0.36 mg/L	< 3.0 mg/L *
Zinc	0.14 mg/L	< 10 mg/L *
Plomo	0.1 mg/L	< 0.4 mg/L *
Cianuro	0.01 mg/L	< 1 mg/L *
*Reglamento de Aguas Residuales		

Continuación del anexo 1.

Análisis microbiológico:

Coliformes Fecales: 1.2×10^3 UFC/100ml

Límite Aceptable: $< 1.0 \times 10^5$ UFC/100ml*

*Reglamento de Aguas Residuales

DICTAMEN: En base a los resultados obtenidos se certifica que el agua residual analizada se encuentra entre parámetros de calidad ACEPTABLE. Se recomienda efectuar análisis de control.

MSc. Q.B. Alberto R. García Guillén
Colegiado 2,487
Jefe de Laboratorio Ambiental

cc archivo

Fuente: UGAM, Municipalidad de Zunilito, Suchitepéquez. Estudio Técnico de Aguas Residuales.

Anexo 2. **Informe de análisis de aguas del punto de descarga No. 2 ubicado en Aldea San Lorencito**

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

Datos Generales:

- Muestra: Agua residual
- Ubicación: Aldea San Lorencito, Municipio de Zunilito, Departamento de Suchitepéquez.
- Geo-referenciación: 14° 38' 22.12" Norte – 91° 29' 51.73" Oeste
- Descripción del punto de muestreo: Descarga Sector 1, Entrada Catarata.
- Nombre del técnico recolector: Fredy García
- Persona o Institución que solicita el Análisis: Municipalidad de Zunilito, Suchitepéquez.

Muestreo:

- Fecha: 05 de junio de 2017
- Tipo de Muestra: Simple
- Tipo de envase: plástico
- Volumen: 500 ml para análisis físico-químico y bacteriológico
- Método de conservación: Refrigeración a 4°C (cadena de frío)
- No. de muestra: 26 - 2017

Determinaciones efectuadas en el Laboratorio:

Características físico-químicas

Parámetro	Resultado	Límite Máximo Aceptable
pH (Potencial de hidrógeno)	5.70 (46.4 mv)	6 – 9 *
Temperatura	16.1°C	10.0 – 25.0 °C
Material Flotante	Ausente	Ausente *
Sólidos suspendidos	120.0 mg/L	400 mg/L*
DBO	117.7 mg/L	250 mg/L*
DQO	222 mg/L	500 mg/L*
Color	50 UPtCo	1000 UPtCo

*Reglamento de Aguas Residuales

Características químicas:

Parámetro	Resultado	Límite Máximo Aceptable
Nitrógeno Total	12.98 mg/L	< 50.0 mg/L *
Fósforo Total	4.54 mg/L	< 30.0 mg/L *
Arsénico	0.01 mg/L	< 0.1 mg/L *
Cromo Hexavalente	0.014 mg/L	< 0.1 mg/L *
Cobre	0.13 mg/L	< 3.0 mg/L *
Zinc	0.1 mg/L	< 10 mg/L *
Plomo	0.1 mg/L	< 0.4 mg/L *
Cianuro	0.02 mg/L	< 1 mg/L *

*Reglamento de Aguas Residuales

Continuación del anexo 2.

Análisis microbiológico:

Coliformes Fecales: 3.2×10^4 UFC/100ml Límite Aceptable: $< 1.0 \times 10^5$ UFC/100ml*

*Reglamento de Aguas Residuales

DICTAMEN: En base a los resultados obtenidos se certifica que el agua residual analizada se encuentra entre parámetros de calidad ACEPTABLE. Se recomienda efectuar análisis de control.

MSc. Q.B. Alberto R. García Guillén
Colegiado 2,487
Jefe de Laboratorio Ambiental

cc archivo

Fuente: UGAM, Municipalidad de Zunilito, Suchitepéquez. Estudio Técnico de Aguas Residuales.