



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

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS  
DE AGUAS RESIDUALES EN MUNICIPALIDADES URBANAS**

**Gustavo Adolfo Villatoro Valladares**

Asesorado por la Inga. María Alejandra Má Villatoro

Guatemala, junio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS  
DE AGUAS RESIDUALES EN MUNICIPALIDADES URBANAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**GUSTAVO ADOLFO VILLATORO VALLADARES**

ASESORADO POR LA INGA. MARIA ALEJANDRA MÁ VILLATORO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

GUATEMALA, JUNIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María Alejandra Má Villatoro
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
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:

### FORMULACIÓN DE UN PLAN DE REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS DE AGUAS RESIDUALES EN MUNICIPALIDADES URBANAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 17 de enero de 2014.



**Gustavo Adolfo Villatoro Valladares**

Guatemala, Julio de 2017

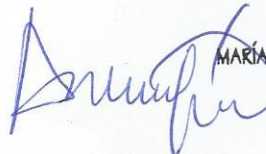
**Ingeniero**  
**Carlos Salvador Wong Davi**  
**Director, Escuela de Ingeniería Química**  
**Facultad de Ingeniería**  
**USAC**

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente me dirijo a usted para informarle que he asesorado al estudiante de **Ing. Ambiental Gustavo Adolfo Villatoro Valladares**, quien se identifica con el número de carnet **2006-14735 y DPI 1597 76368 0101**, en su trabajo de graduación que lleva por título **“FORMULACIÓN DE UN PLAN DE REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS DE AGUAS RESIDUALES EN MUNICIPALIDADES URBANAS”**.

Luego de haber propuesto correcciones y el estudiante haberlas realizado, **APRUEBO** este trabajo de graduación para que el mismo sea sometido a su consideración y posteriormente a una aprobación final.

Atentamente,

  
MARÍA ALEJANDRA MÁ VILLATORO  
INGENIERA QUÍMICA  
Colegiada 1,259

Inga. Alejandra Ma Villatoro  
ASESORA



Guatemala, 17 de enero de 2018.  
Ref. EIQ.TG-IF.002.2018.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **176-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por el estudiante universitario: **Gustavo Adolfo Villatoro Valladares**.  
Identificado con número de carné: **1597 76368 0101**.  
Identificado con registro académico: **2006-14735**.  
Previo a optar al título de **INGENIERO AMBIENTAL**.


Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS**  
**DE AGUAS RESIDUALES EN MUNICIPALIDADES URBANAS**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **María Alejandra Ma Villatoro**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Inga. Casta Zeceña Zeceña  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.009.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** del estudiante, **GUSTAVO ADOLFO VILLATORO VALLADARES** titulado: "**FORMULACIÓN DE UN PLAN DE REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS DE AGUAS RESIDUALES EN MUNICIPALIDADES URBANAS**".  
Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo 2018

**FACULTAD DE INGENIERIA USAC**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DIRECTOR**

Cc: Archivo  
CSWD/ale



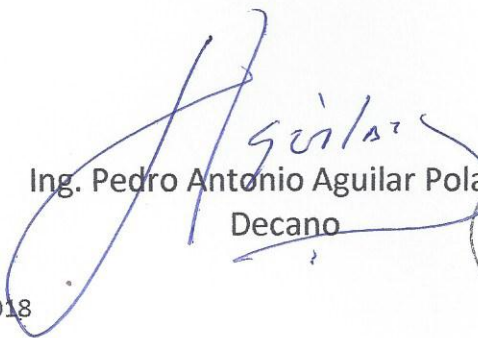
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Instituciones de Educación Superior





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **FORMULACIÓN DE UN PLAN DE REALIZACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS DE AGUAS RESIDUALES EN MUNICIPALIDADES URBANAS**, presentado el estudiante universitario: **Gustavo Adolfo Villatoro Valladares**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, junio de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

**Dios**

Por su amor infinito.

**Mi madre**

Marisol Valladares, por ser mi fuente de inspiración y amor incondicional.

**Mi padre**

Gustavo Villatoro, por su apoyo incondicional y sabiduría.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis hermanos</b>	Por su apoyo incondicional y ejemplo.
<b>Mis amigos y seres queridos</b>	Por su amistad, apoyo moral y valiosos recuerdos.
<b>Mi novia</b>	Melissa Díaz, por su apoyo incondicional, paciencia y amor que me brinda en cada aspecto de la vida.
<b>Mis catedráticos</b>	Por brindarme su amistad y conocimientos valiosos.
<b>Mi universidad</b>	Por darme una educación superior, grande entre las del mundo.
<b>Laboratorio LABIND</b>	Primer laboratorio para el análisis de aguas industriales con destacada trayectoria en el apoyo a las industrias, municipalidades y particulares para el cumplimiento de normativas ambientales, por brindarme su experiencia y profesionalismo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. El agua .....	1
1.1.1. El ciclo hidrológico del agua .....	1
1.1.2. Contaminación del agua .....	4
1.1.2.1. Fuentes de contaminación del agua.....	5
1.1.2.2. Efectos de la contaminación del agua en el medio ambiente y en la biota.....	8
1.1.2.3. Eutrofización.....	10
1.1.2.4. Efectos de la contaminación en la salud humana .....	13
1.2. El agua residual.....	16
1.2.1. Parámetros de calidad del agua residual.....	16
1.2.2. Caracterización de aguas residuales.....	21
1.2.2.1. Muestreo simple .....	23
1.2.2.2. Muestreo compuesto .....	23
1.2.2.3. Medición de caudal.....	24

1.2.3.	Río La Pasión, desastre ecológico y social en Sayaxché Petén .....	24
1.2.3.1.	Punto de vista legal .....	30
1.3.	Tratamiento de aguas residuales .....	30
1.3.1.	Tratamiento preliminar.....	31
1.3.2.	Tratamiento primario .....	32
1.3.3.	Tratamiento secundario.....	33
1.3.4.	Tratamiento terciario .....	35
1.3.5.	Tratamiento de lodos.....	37
1.4.	Nociones del derecho ambiental .....	39
1.5.	Legislación nacional .....	41
1.5.1.	Constitución Política de la República de Guatemala.....	43
1.5.2.	Decreto No. 90-97 Código de Salud.....	46
1.5.3.	Decreto 68-86 <i>Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente</i> .....	52
1.5.4.	Código municipal.....	55
1.5.5.	<i>Acuerdo Gubernativo No. 137-2016, Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental</i> .....	59
1.5.6.	<i>Acuerdo gubernativo No. 236-2006, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos</i> .....	67
1.5.6.1.	Estudio técnico de aguas residuales ....	68
1.5.6.2.	Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales.....	69
1.5.6.3.	Modelo de reducción progresiva de cargas.....	72
1.5.6.4.	Parámetros de aguas para reuso .....	72
1.5.6.5.	Parámetros para lodos .....	74

	1.5.6.6.	Seguimiento y evaluación .....	75
	1.5.6.7.	Prohibiciones y sanciones .....	77
	1.5.7.	Legislación internacional .....	80
	1.5.7.1.	Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible 1992.....	80
	1.5.7.2.	Convenio de Estocolmo .....	82
2.	ESTUDIO TÉCNICO DE AGUAS RESIDUALES PARA MUNICIPALIDADES EN ÁREAS URBANAS .....		87
	2.1.	Clasificación de zonas y áreas urbanas .....	87
	2.2.	¿Qué es un estudio técnico de aguas residuales? .....	89
	2.3.	Contenido del estudio técnico.....	93
	2.4.	Caracterización del efluente .....	96
	2.5.	Parámetros de descarga de aguas residuales municipales a cuerpos receptores.....	98
	2.6.	Parámetros y metodologías de la disposición final de lodos ...	99
	2.7.	Seguimiento y evaluación.....	99
	2.8.	Criterios técnicos para el establecimiento de tarifas de servicio de tratamiento de aguas residuales.....	100
	2.9.	Plan de gestión de aguas residuales .....	101
	2.10.	Plan de tratamiento de aguas residuales.....	102
	2.11.	Las municipalidades y la gestión del agua residual.....	102
	2.11.1.	Municipalidad de Guatemala .....	107
	2.11.2.	Municipalidad de Santa Catarina Pinula .....	109
	2.11.3.	Municipalidad de Villa Nueva.....	112
	2.11.4.	Municipalidad de Villa Canales .....	114
	2.11.5.	Municipalidad de Fraijanes .....	115

3.	GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS EN MUNICIPALIDADES URBANAS.....	119
3.1.	Contenido del estudio técnico .....	120
3.1.1.	Información general.....	121
3.1.2.	Documentos del estudio técnico.....	140
	CONCLUSIONES.....	147
	RECOMENDACIONES .....	149
	BIBLIOGRAFÍA.....	151
	ANEXOS.....	153

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	El ciclo hidrológico del agua.....	2
2.	Eutrofización: proceso de envejecimiento de un cuerpo de agua .....	11
3.	Cuenca alterada por actividad humana.....	12
4.	Mapa de cuencas y vertientes de la República de Guatemala.....	25
5.	Ubicación de planta REPSA en río La Pasión.....	27
6.	Desastre ecológico río La Pasión.....	28
7.	Listado de especies muertas encontradas en río La Pasión .....	29
8.	Pirámide de Kelsen sobre jerarquía jurídica ambiental para aguas residuales.....	40
9.	Contribución de aguas residuales de las municipalidades hacia el lago Amatitlán .....	58
10.	Artículos de límites máximos permisibles de la descarga de aguas residuales.....	71
11.	Diagrama de flujo para la realización de un estudio técnico de aguas residuales en municipalidades urbanas.....	91
12.	Entrevista Unidad de Planificación de EMPAGUA. ....	109
13.	Entrevista Departamento de Agua y Saneamiento, Municipalidad de Santa Catarina Pínula .....	111
14.	Entrevista, municipalidad de Villa Nueva .....	113
15.	Red hidrológica del departamento de Zacapa.....	123
16.	Puntos de descarga de aguas residuales del municipio de Fraijanes	125
17.	Gráfica de comportamiento de caudal vs tiempo en un día de operación municipal .....	128

18.	Descripción de diagrama de tratamientos en aguas residuales municipales.....	129
-----	--	-----

## TABLAS

I.	Ríos y vertientes de la red hidrológica de la República de Guatemala .....	26
II.	Comparación de tratamientos de aguas residuales y eficiencias de remoción de contaminante.....	36
III.	Base legal de reglamentos para la protección y mejoramiento del medio ambiente .....	53
IV.	Ejemplo de actividades clasificadas en el listado taxativo del Acuerdo Gubernativo No. 199-2016 .....	64
V.	Parámetros y límites máximos permisibles para reuso.....	74
VI.	Parámetros y límites máximos permisibles para lodos .....	75
VII.	Frecuencia de toma de muestras.....	76
VIII.	Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos por muestreo .....	77
IX.	Listado de contaminantes orgánicas persistentes .....	84
X.	Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales.....	98
XI.	Plantas de tratamiento del municipio de Villa Canales .....	114
XII.	Datos de estudios técnicos de aguas residuales de municipalidades en estudio .....	117
XIII.	Plantilla de información de ente generador municipal.....	121
XIV.	Medición de caudal durante 24 horas acumulativo .....	127
XV.	Resultado de análisis de caracterización de aguas residuales del efluente municipal.....	130



XVI.	Demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, relación DQO/DBO <sub>5</sub> , caudal y total de carga orgánica municipal.....	131
XVII.	Modelo de reducción progresiva de carga orgánica en municipalidades .....	136
XVIII.	Caracterización de aguas municipales para reúso.....	138
XIX.	Caracterización de lodos municipales .....	138
XX.	Plan de gestión de aguas residuales, aguas para reúso y lodos municipales .....	142
XXI.	Programación de muestreos de parámetros en municipalidades.....	145



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>CO<sub>2</sub></b>	Bióxido de carbono
<b>P<sub>total</sub></b>	Fósforo total
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>km</b>	Kilómetro
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>mg/L</b>	Miligramo por litro
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>NH<sub>3</sub></b>	Nitrógeno amoniacal
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrato
<b>N<sub>orgánico</sub></b>	Nitrógeno orgánico
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno elemental
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje
<b>SS</b>	Sólidos sedimentables



## GLOSARIO

<b>Acuitardo</b>	Es una formación geológica semipermeable, que conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones de aguas subterráneas.
<b>Acuífugo</b>	Es una formación geológica subterránea que se caracteriza por ser impermeable, por tanto, es incapaz de absorber o transmitir agua.
<b>Afluente</b>	Líquido que ingresa a un sistema.
<b>Alícuota</b>	Es una parte que se toma de un volumen (alícuota líquida) o de una masa (alícuota sólida) iniciales, para ser usada en una prueba de laboratorio, cuyas propiedades físicas y químicas, así como su composición, representan las de la sustancia original.
<b>AMSA</b>	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán.
<b>Antropogénico</b>	Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

<b>Anóxico</b>	Que sufre de una fuente reducida de oxígeno; falta de oxígeno.
<b>Biodiversidad</b>	Es la variedad de la vida. Abarca a la diversidad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos.
<b>Biogeoquímico</b>	Se aplica al ciclo o proceso en el que median factores bióticos, geológicos y químicos en la tierra, como el ciclo del carbono y el del nitrógeno.
<b>Biota</b>	El conjunto de animales y plantas de una región.
<b>CAS</b>	Identificación numérica única para compuestos químicos por sus siglas en inglés <i>chemical abstracts service</i> .
<b>CIU</b>	Clasificación industrial internacional uniforme.
<b>Coliformes fecales</b>	Grupo bacteriano presentes en los intestinos de los mamíferos y los suelos, que representan una indicación de la contaminación fecal del agua.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Conama</b>	Comisión Nacional de Medio Ambiente.
<b>Conap</b>	Comisión Nacional de Áreas Protegidas.

<b>COP</b>	Contaminante orgánico persistente.
<b>DCL</b>	Dirección de Cumplimiento Legal.
<b>DCN</b>	Dirección de Coordinación Nacional.
<b>DIGARN</b>	Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales.
<b>Efluente</b>	Líquido residual que fluye de una instalación.
<b>EIA</b>	Estudio de impacto ambiental.
<b>Empagua</b>	Empresa Municipal de Agua.
<b>Endorreico</b>	Que sus aguas drenan hacia un punto en común dentro de la cuenca y no tiene salida fluvial hacia el océano.
<b>Exorreico</b>	Escurrimiento superficial que desemboca en el mar.
<b>Fosfatos</b>	Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica.
<b>Heterogéneo</b>	Es todo aquello que está compuesto de partes de distinta naturaleza.

<b>Homogéneo</b>	Está formado por elementos con una serie de características comunes referidas a su clase o naturaleza que permiten establecer entre ellos una relación de semejanza.
<b>Lipofilia</b>	Tendencia a atraer o absorber grasas.
<b>Malation</b>	Compuesto químico pesticida, utilizado casi exclusivamente como insecticida.
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
<b>Metano</b>	Gas incoloro, inodoro y muy inflamable, más ligero que el aire, que en la naturaleza se produce por la descomposición de la materia orgánica.
<b>NGO</b>	Norma Guatemalteca Obligatoria.
<b>Nitrato</b>	Es un compuesto inorgánico compuesto por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O).
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	Son gases que se producen de forma natural por fermentaciones microbianas de productos nitrogenados, por ejemplo en la descomposición de proteínas o urea.
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud.



<b>Parshall</b>	Es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal.
<b>Patógeno</b>	Se le denomina a todo agente biológico externo que se aloja en un ente biológico determinado, dañando de alguna manera su anatomía, a partir de enfermedades o daños visibles.
<b>PCB</b>	Bifenilo policlorado por sus siglas en inglés <i>polychlorinated biphenyl</i> .
<b>REPSA</b>	Reforestadora de Palma de Petén, S.A.
<b>SECSA</b>	Sistema de evaluación, control y seguimiento ambiental.
<b>Sistema lítico</b>	Se refiere a todo lo relacionado a rocas y minerales.
<b>Sistema edáfico</b>	Se refiere a todo lo relacionado con los suelos.
<b>Sulfatos</b>	Se trata de la sal, ya sea orgánica o mineral, que compone el ácido sulfúrico.
<b>Vertederos</b>	Son aquellos lugares donde se deposita finalmente la basura. Estos pueden ser oficiales o clandestinos.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación es una recopilación de información para apoyar a los técnicos municipales interesados en desarrollar un plan metodológico para la realización de estudios técnicos de aguas residuales en sus municipios, los cuales deberán ser capacitados en las temáticas de contaminación hídrica, legislación nacional e internacional que la regule y sistemas de tratamiento de aguas residuales para la disposición final hacia cuerpos receptores o alcantarillado público.

Se sabe que la principal fuente de contaminación de los recursos hídricos proviene de las aguas residuales ordinarias, las cuales son generadas en mayor cantidad en las poblaciones urbanas. Debido a que los caudales son unificados y descargados en un solo punto de desfogue, provocan un foco de contaminación ambiental que no puede ser degradado por el cuerpo receptor que provoca serios problemas ambientales como la eutrofización y contaminación hídrica que causa enfermedades gastrointestinales como la diarrea, la principal causa de muerte de niños en países en vías de desarrollo.

Por tal motivo, las personas que inicien en la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, deben comprender las diferentes tecnologías de tratamiento y diferenciar un tratamiento primario, secundario y terciario, así como la identificación de puntos de muestreo y metodologías para el análisis de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales para evaluar la características de las descargas.

De igual forma, en el presente trabajo de graduación se expondrán las jerarquías de las leyes aplicables para el cuidado del medio ambiente desde el punto de vista de la teoría kelseniana, sobre jerarquías de leyes y de cómo se sobreponen unas leyes ante otras.

Debido que la principal fuente de generación de aguas residuales son los centros urbanos poblados y que la administración de dichas aguas se encuentra a cargo de las municipalidades, quienes gestionan los sistemas de alcantarillado que conducen dichas aguas residuales hacia una planta de tratamiento o hacia un cuerpo receptor; el reglamento de descarga de aguas residuales del Acuerdo Gubernativo 236-2006 tiene en consideración especial normar las descargas de aguas residuales municipales.

El presente trabajo tiene como finalidad ser de ayuda para la comprensión de la importancia del cumplimiento del reglamento de aguas residuales por medio de la generación del estudio técnico de aguas residuales en las municipalidades, el cual es un documento de evaluación, control y seguimiento ambiental para la determinación de las fuentes de contaminación de los recursos hídricos y sentar la bases de una adecuada gestión de las aguas residuales y disminución de la contaminación del recurso hídrico para las municipalidades urbanas.

## OBJETIVOS

### General

Formular un plan metodológico apropiado para la realización del estudio técnico de aguas residuales de carácter obligatorio en el artículo 5 del Acuerdo Gubernativo 236-2006 sobre el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, que sirva como modelo de aplicación en las municipalidades urbanas dentro del territorio de Guatemala.

### Específicos

1. Detallar los conocimientos necesarios en relación a la ciencia del estudio del agua, la contaminación del agua y el tratamiento de aguas residuales, requeridos para la elaboración de un estudio técnico.
2. Identificar las obligaciones de las municipalidades en relación al cumplimiento del estudio técnico de aguas residuales del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. Establecer los pasos para la realización de estudio técnico de aguas residuales municipales, para una formulación estandarizada.
4. Detallar una metodología para la realización de un plan de gestión ambiental para el tratamiento de aguas residuales municipales.



## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema que aumenta junto con el desarrollo de la civilización humana; a medida que la población aumenta, también, la contaminación se hace crítica que llega a niveles que pueden alterar la salud humana y también la de los ecosistemas.

El agua, por ser el elemento fundamental de la vida, es de igual forma una de las principales formas de contaminación y de las más comunes en las civilizaciones, debido a su uso cotidiano para la limpieza personal, aseo de áreas comunes y su fácil forma de desecharla por medio de alcantarillados, drenajes y canales que conducen esta forma de contaminación lejos del lugar de origen.

La naturaleza de los ecosistemas tiene la capacidad intrínseca de absorber y degradar la contaminación hídrica en formas más estables y aprovecharlo en los ecosistemas; sin embargo, esta capacidad tiene un límite; al sobrepasarlo, se produce un efecto negativo para los ecosistemas y posteriormente para la salud humana.

En 2014, según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en Guatemala, el 90 % de las fuentes de agua se encontraban contaminadas por residuos fecales y contaminación bacteriológica lo que provoca enfermedades diarreicas para los que la consumen sin ningún tratamiento. Esta contaminación es principalmente atribuida por las descargas de aguas residuales de tipo doméstica proveniente de los alcantarillados públicos de las municipalidades o bien por la falta de acceso a drenajes y sistemas de tratamiento en los cascos

urbanos, los cuales descargan sus aguas residuales a los ríos; ya que Guatemala cuenta con una red hidrológica muy grande y su topografía origina cauces naturales que son aprovechados para descargar las aguas residuales sin previo tratamiento.

Guatemala cuenta con una gran cantidad de normativas nacionales e internacionales que buscan el mejoramiento de las condiciones sanitarias de los habitantes; *la Constitución Política de la República de Guatemala*, enuncia en el artículo 93, sobre el derecho a la salud: el goce de la salud es derecho fundamental del ser humano, sin discriminación alguna, hecho que reitera en el artículo 97, sobre el medio ambiente y el equilibrio ecológico, donde enuncia que el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico.

Adicional, el 12 de mayo de 2016 se publicó en el diario oficial el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* por medio del Acuerdo Gubernativo número 236-2006, el cual tiene por objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como de la disposición de lodos generados por sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Este reglamento no excluye a las municipalidades como ente generador de aguas residuales y dictamina en su caso los criterios y las normas que deben cumplir para evitar la contaminación.

Uno de los principales artículos del mencionado reglamento, es el artículo 5, el cual indica que toda persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial,



ordinario o mezcla de ambas, que las viertan a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tiene la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso u lodos, denominado estudio técnico.

El estudio técnico, visto desde un punto de vista de gestión integral en municipalidades y entes generadores privados, tiene la capacidad de detallar las condiciones actuales de operación, la cantidad de contaminación generada a tratar y la eficiencia del proceso; así mismo, la de avizorar problemas a futuro como la necesidad de ampliar el sistema de tratamiento por aumento de la población o de la producción; también, detalla los planes de gestión que deben realizarse para el adecuado funcionamiento de los sistemas de tratamiento y cumplimiento de los parámetros de descarga al cuerpo receptor.

Se escogió como muestra de estudio, de las entidades obligadas a realizar el estudio técnico de aguas residuales, a las municipalidades urbanas debido a que son las que tienen un impacto significativo en la contaminación del agua y ya poseen cierto grado de organización territorial que permite desempeñar acciones y planes estratégicos para disminuir un problema común de una población, como lo es que la población posea acceso al agua potable y que tengan un sistema de drenajes y alcantarillado para unificar las descargas; se puede así centralizar el problema y darle solución por medio de las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes o identificar un sistema de tratamiento acorde a las características del municipio.

Por tal motivo, se estructuró el trabajo de investigación en tres capítulos. El primer capítulo detalla la información más importante, técnica y legal, al momento de realizar un estudio técnico de aguas residuales; el segundo capítulo describe detalladamente las atribuciones esperadas para las

municipalidades, al respecto del desarrollo del estudio técnico de aguas residuales; así mismo, se realiza una investigación con muestra de municipalidades urbanas del departamento de Guatemala, con el objeto de determinar el grado de avance en el cumplimiento del artículo 5 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, sobre la realización del estudio técnico.

Por último, se detallan en el tercer capítulo los resultados de la propuesta de la formulación de un plan para la realización de estudios técnicos de aguas residuales en municipalidades urbanas.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. El agua**

El agua es el elemento fundamental para la vida de los seres vivos, es conocida como el solvente universal debido a su gran capacidad de disolver prácticamente cualquier material que entre en contacto con esta, por tal razón. es la principal razón que da el soporte de la vida a los organismos, por su capacidad de transportar diferentes tipos de nutrientes, minerales, sustancias químicas, entre otros, desde el nivel celular hasta los macroorganismos.

Es por esta característica, de solvente universal, que el agua pura en su estado elemental  $H_2O$  es prácticamente imposible de ser encontrada en la naturaleza. Los seres vivos encuentran en la naturaleza una mezcla heterogénea de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua, las cuales varían dependiendo de la procedencia del agua, ubicación, características de la zona, características geológicas, ecosistemas, entre otros, la cual se puede observar en el ciclo hidrológico del agua.

### **1.1.1. El ciclo hidrológico del agua**

El ciclo hidrológico del agua se conoce como los cambios de estado físico que se producen en el agua, los cuales tienen origen en la naturaleza promovidos principalmente por una fuente inagotable de energía, como el sol; el cual por medio de la energía térmica evapora el agua de los mares, ríos, lagos y las plantas, para transformar en estado gaseoso el agua la cual se almacena en

las nubes y en la atmosfera. Posteriormente, el agua en su estado gaseoso se transforma en estado líquido o sólido por medio de cambios de presión y temperatura en la atmosfera y se precipita en forma de lluvia, granizo o nieve, de vuelta a los cuerpos de agua en los mares y/o en los continentes, en donde es absorbida por las plantas, ingresa a cauces naturales o se infiltra en la tierra abasteciendo los mantos acuíferos.

Figura 1. **El ciclo hidrológico del agua**



Fuente: GONZALO TEJERO, Iván. *Los acuíferos de la provincia de Segovia*.

<http://goo.gl/321ppe>. Consulta: 21 de enero de 2015.

Los principales procesos que suceden en el ciclo hidrológico se definen a continuación:

- **Evaporación:** el agua se evapora en la superficie de los cuerpos de agua como océanos, ríos, lagos, sobre la superficie terrestre, por medio de la

transpiración en las plantas (evapotranspiración) y sudoración en los animales.

- Condensación: el agua contenida en la atmosfera en estado gaseoso se unifica en las nubes formando la condensación del agua, manifestándose como agua en estado líquido constituido por gotas minúsculas de agua.
- Precipitación: se produce cuando las gotas formadas en la condensación del agua se aglutinan para formar gotas de mayor tamaño y mayor peso, por lo que logran vencer las fuerzas físicas que las mantienen en las nubes, las cuales terminan por precipitarse hacia la superficie terrestre y puede manifestarse en forma sólida como nieve o granizo y líquida como lluvia.
- Infiltración: sucede cuando el agua proveniente de la precipitación es absorbida por los poros del suelo y transportada por las condiciones geológicas hacia zonas subterráneas donde es almacenada por medio de los mantos freáticos, los cuales pueden volver a manifestarse como escorrentía superficial si el agua tiene salida en las partes bajas de las zonas montañosas.
- Escorrentía: es el término que se refiere a las formas en que el agua procedente de las precipitaciones o infiltraciones corre hacia zonas más bajas, las cuales se pueden manifestar como ríos, riachuelos y nacimientos y en las aguas subterráneas se transporta por medio de las condiciones de permeabilidad de las zonas geológicas hacia los acuíferos, acuitardos, acuífugos, hacia ríos, lagos o mares conocido como escorrentía subterránea.

En este proceso hidrológico, el agua entra en contacto con varios contaminantes naturales y antropogénicos, por lo que el agua en su estado puro no es posible encontrarla; es una mezcla heterogénea de minerales disueltos, materia orgánica, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, sustancias químicas y microorganismos que influyen directamente en el color, olor, sabor y turbidez que originan lo que se conoce como agua natural de un nacimiento, un pozo artesiano, ríos y lagos.

El agua potable no es solamente el agua que se utiliza para beber; el agua potable es aquella que utiliza el hombre para consumo; incluye las actividades de higiene, lavado de alimentos y bebida; y según la norma COGUANOR NGO 29001 es aquella agua que por sus características organolépticas, físicas, químicas, y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en dicha norma.

El agua para consumo humano, al ser una mezcla de diferentes contaminantes naturales o antropogénicos, para ser consumida por el ser humano y considerarse potable debe cumplir con ciertos límites máximos permisibles de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, las cuales están normadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y en Guatemala por la Norma Guatemalteca Obligatoria (NGO) 29,001 de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR); este tema no es parte de la discusión de la presente investigación pero si parte de la problemática abordada, por lo que no se abordará a profundidad.

### **1.1.2. Contaminación del agua**

“La contaminación del agua es cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad del agua que tiene un efecto dañino en cualquier cosa viva que

consume esa agua. Cuando los seres humanos beben el agua contaminada tienen a menudo problemas de salud”<sup>1</sup>.

Adicional a los contaminantes naturales del agua que suceden durante el ciclo hidrológico; también, se produce la contaminación antropogénica que ha ido incrementando de concentración, características y calidad de la mano del desarrollo de las civilizaciones.

Las actividades propias de las civilizaciones de demandar recursos, disponer de estos y desecharlos como residuos son el principal problema de la contaminación del agua que aporta grandes cantidades de contaminantes como el nitrógeno, fósforo, contaminantes orgánicos persistentes, pesticidas, metales pesados y contaminación microbiológica.

Algunos de estos contaminantes en cantidades ordinarias de generación no presentan problemas ambientales como lo fuese el nitrógeno y fósforo, los cuales poseen un ciclo biogeoquímico en la tierra; sin embargo, con el desarrollo de las actividades humanas hacen que la cantidad de desechos generados sobrepase la curva de sostenibilidad o de incorporación a los ciclos naturales de la tierra.

#### **1.1.2.1. Fuentes de contaminación del agua**

Las cuatro principales fuentes de la contaminación del agua según su procedencia son:

---

<sup>1</sup> Lenntech. *FAQ de la contaminación del agua*. <http://www.lenntech.es/faq-contaminacion-agua.htm>. Consulta: 13 de mayo de 2016.

- Aguas residuales domesticas o urbanas. Son aquellas que contienen desechos humanos, animales y caseros, producto de las actividades propias de los seres vivos como los servicios sanitarios, duchas, higiene individual, ropa y alimentos; así mismo, como desperdicios de comida y lavado de áreas; estas aguas residuales son típicas de las zonas residenciales donde no se efectúan operaciones industriales o solo en muy corta escala. Estos desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre; por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas residuales para su disposición final.
- Aguas residuales industriales. Son las aguas de desecho provenientes de los procesos industriales, los cuales pueden recolectarse y disponerse aisladamente de las aguas residuales domésticas o formar parte en el tratamiento de estas. Estos desechos, según sea la caracterización de la industria, pueden representar serios problemas medioambientales y también problemas en los sistemas de tratamiento, principalmente, los municipales que no están acondicionados para el tratamiento de las diferentes cargas generadas por estas actividades.
- Escorrentías de usos agrícolas. Son las aguas residuales que se generan como escorrentía de las aguas de riego o pluviales dentro de un terreno agrícola y que transportan el excedente de o porción de plaguicidas, pesticidas y fertilizantes que fueron aplicados a los cultivos. Estas agua residuales no ingresan a sistemas de alcantarillado municipal y su tratamiento no puede ser por medio de una planta de tratamiento de aguas residuales, sino deben realizarse estudios de impacto ambiental,



control de las variables ambientales en la zona y de los cuerpos receptores, así como el monitoreo de los cambios en la zona.

- Escorrentía de aguas pluviales. Las aguas pluviales no forman parte de la aguas residuales como un producto de desperdicio de generación de los seres humanos que pueda ser atribuido a un sujeto en específico, puesto que las escorrentías de aguas pluviales representa un aumento en las concentraciones de los contaminantes que ingresan en los alcantarillados pluviales, debido a que las primeras precipitaciones sirven de limpieza de las zonas como plazas, calles, carreteras y las características de las aguas pueden variar desde sólidos disueltos hasta aceites, lubricantes y carburantes que se encontraban en las calles. Estas aguas no deben ingresar a un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales puesto que las circunstancias en que pueda estar construida y ubicada la planta de tratamiento podrían originar un azolvamiento, pérdida de material biológico e incluso la destrucción de la planta de tratamiento.

Para efectos de descripciones de las aguas residuales del presente trabajo de investigación, a continuación, se tomarán en consideración únicamente las aguas residuales de tipo domésticas o urbanas, debido a que el *Reglamento de aguas residuales y de la disposición de lodos* estipula en los artículo 27 y 28 que las empresas que descarguen aguas residuales de tipo especial deben reducir los parámetros de la calidad del agua a niveles aceptables para los sistemas de tratamiento municipales, los cuales están orientados o diseñados para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinarias, domésticas o urbanas.

### **1.1.2.2. Efectos de la contaminación del agua en el medio ambiente y en la biota**

Los efectos de la contaminación en el medio ambiente y en la biota serán directamente proporcionales a las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales así como del ecosistema y la biota a donde son descargadas estas aguas; así mismo, la cantidad y la frecuencia son factores que afectan en menor o mayor grado el medio ambiente y la biota.

Todos los cuerpos receptores, ecosistemas y la biota que se encuentra en el medio ambiente, tienen la capacidad de amortiguar los efectos negativos de la contaminación en su medio; sin embargo, esta capacidad es limitada y es distinta para cada ecosistema y deberán ser estudiadas en cada caso específico.

Un parámetro para determinar la calidad de un cuerpo de agua es el oxígeno disuelto debido a que tanto los seres vivos utilizan en cantidades racionales este elemento; mientras que en condiciones de elevada contaminación, las bacterias y los compuestos químicos y orgánicos también demandan el uso del oxígeno que reduce su disponibilidad para los seres vivos y ocasiona problemas ambientales.

Los peces y animales acuáticos no pueden diferenciar el oxígeno del agua ( $H_2O$ ) o de otros compuestos que contengan oxígeno. Solo las plantas verdes y algunas bacterias pueden hacerlo a través de la fotosíntesis y procesos similares. Virtualmente, el oxígeno que se respira es producido por las plantas verdes. Un total de las tres cuartas partes del oxígeno de la tierra es producido por el fitoplancton en los océanos.

Los niveles de oxígeno también pueden ser reducidos a través de la sobre fertilización de las plantas por la fuga desde los campos de los fertilizantes conteniendo estos nitratos y fosfatos (son ingredientes de los fertilizantes). Bajo de estas condiciones, el número y el tamaño de las plantas acuáticas aumenta en gran cantidad. Entonces, si el agua llega a estar turbia por algunos días, la respiración de las plantas utilizará mucho del oxígeno disuelto disponible. Cuando las plantas mueran, ellas llegarán a ser comida para bacterias, las cuales tendrán alta multiplicación y usarán grandes cantidades de oxígeno.

Otro tipo de contaminación selectiva es la contaminación térmica, la cual consiste en el aumento de las temperaturas de las aguas de los ambientes costeros, ríos o lagos, los cuales principalmente provienen de las centrales de termoeléctricas, las cuales cualquiera que sea el combustible que utilice (petróleo, gas, material radiactivo) funcionan con un mismo esquema: un sistema de agua cerrado, es calentado hasta pasar del estado líquido a vapor; es esa energía de expansión la que se aprovecha para mover una turbina y a su vez generar electricidad.

Las centrales para volver a reutilizar el vapor de agua nuevamente en su ciclo, debe ser condensado y vuelto a su condición inicial. Para ello las usinas termoeléctricas tienen condensadores, que se enfrían utilizando generalmente agua, de algún cuerpo de agua como un río, o del mar, y es por ello que se localizan a la vera de un cauce de agua dulce o en regiones costeras.

El calentamiento de las aguas costeras puede tener efectos muy pronunciados sobre la biota marina, y por ejemplo, en ambientes tropicales y subtropicales, muchos organismos ya se encuentran cercanos a su límite de tolerancia térmica y el recalentamiento de su hábitat los perjudicaría irreversiblemente. Es el caso de la fanerógama marina (pasto marino, alimento

de otras especies), cuya tasa de crecimiento disminuye rápidamente con temperaturas mayores a 32 °C, a los 35 °C ya no se reproduce.

En general, los efectos pueden ser distintos en cada ecosistema al que son descargados los contaminantes, y es por ello que cada caso debe evaluarse por separado y conocer todas las matrices del sistema ambiente y contaminación.

### **1.1.2.3. Eutrofización**

La eutrofización consiste en un desarrollo excesivo de algas en una masa de agua superficial estancada que origina una alteración de sus características fisicoquímicas iniciales. Se presentan como responsables de este fenómeno principalmente los nutrientes para los organismos vegetales, que en incrementada continuamente su concentración en las aguas residuales ordinarias.

“La eutrofización es también un proceso natural de envejecimiento de los cuerpos de agua, progresa aun sin tener la ayuda del hombre; la contaminación, sin embargo, acelera el envejecimiento natural y acorta considerablemente la vida del cuerpo de agua”<sup>2</sup>.

La secuencia general del proceso de eutrofización se puede resumir en la figura 2, la cual consiste en una progresión gradual de una etapa a la otra, basada en los cambios el grado de nutrición o productividad. La etapa más joven del proceso se caracteriza por la concentración muy baja de nutrientes de las plantas y una productividad biológica pequeña. Estos cuerpos de agua se llaman oligotróficos o bien pocos nutrientes. En una etapa posterior de la

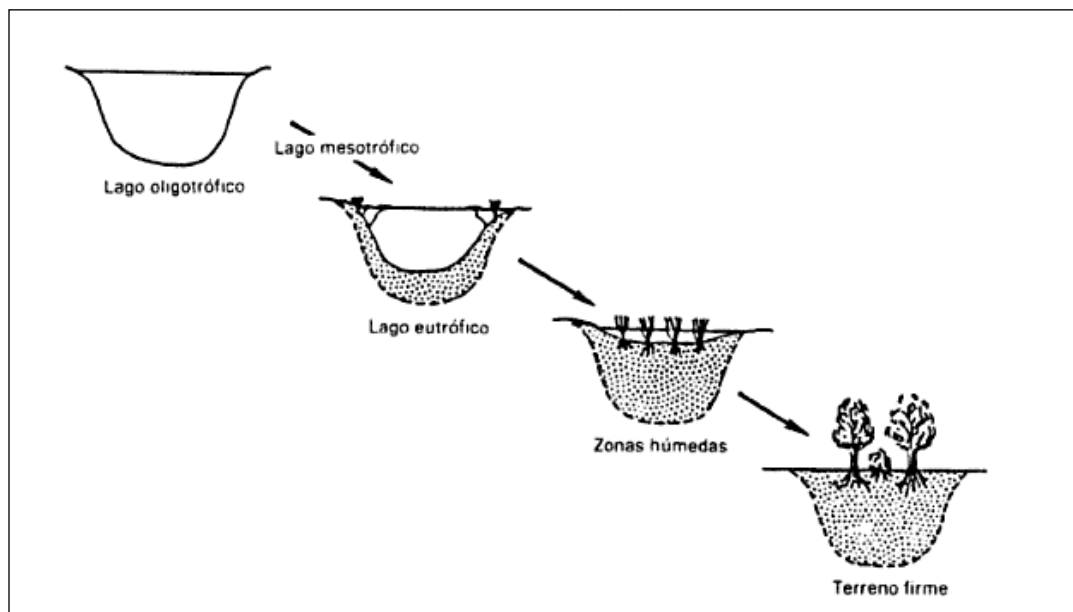
---

<sup>2</sup> RAMALHO, R.S. *Tratamiento de aguas residuales*. p. 23.

sucesión, el lago se hace mesotrófico. A continuación, el lago puede llegar a ser eutrófico o altamente productivo. La etapa final antes de la desaparición puede ser una tierra húmeda.

El enriquecimiento y la sedimentación son los principales contribuyentes al proceso de envejecimiento. La vegetación en la orilla y las plantas acuáticas superiores utilizan parte de los nutrientes que llegan, crecen abundantemente y, en consecuencia, retienen los sedimentos. El lago gradualmente se va rellenando acumulándose las plantas y sedimentos en el fondo y haciéndose más pequeño por la invasión de la vegetación en las orillas pudiendo llegar a ser tierra firme. La extinción de un lago, en consecuencia, es un resultado del enriquecimiento, productividad, degradación y sedimentación.

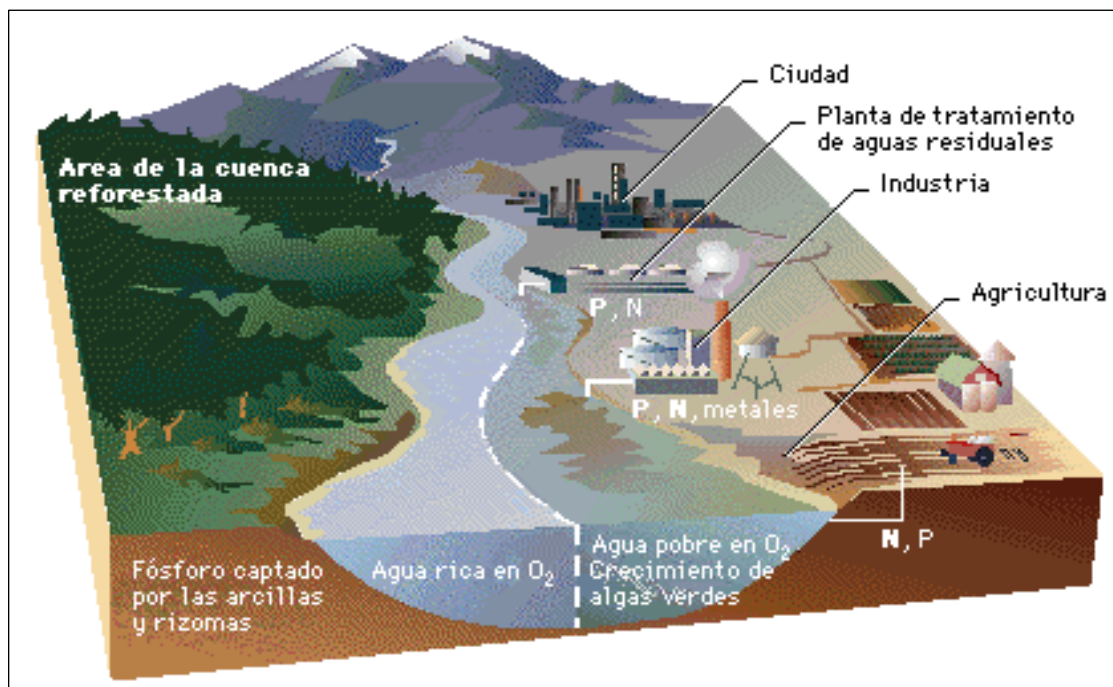
Figura 2. **Eutrofización: proceso de envejecimiento de un cuerpo de agua**



Fuente: RAMALHO, R.S. *Tratamiento de aguas residuales*. p. 23.

El crecimiento excesivo de vegetación, generalmente, microscópica o plancton, originado por la aceleración del proceso de eutrofización por aguas residuales necesitará para su mineralización cuando muera y sedimente a las aguas profundas, una cantidad de oxígeno que no está disponible en el cuerpo de agua, originando condiciones anóxicas que alteran profundamente las características químicas del agua. Adicional a esta situación, se agrava puesto que la alteración humana que ha originado el proceso de eutrofización no suele limitarse al aumento de nutrientes, sino que suele estar acompañada por una carga orgánica que demandará aún más oxígeno con lo cual la vida se encuentra en el cuerpo de agua será insostenible.

Figura 3. **Cuenca alterada por actividad humana**



Fuente: ¿Qué es la eutrofización del agua? <http://www.porquecomoydonde.com/2012/01/que-es-la-eutrofizacion-del-agua.html>. Consulta: 19 de noviembre de 2014,

#### 1.1.2.4. Efectos de la contaminación en la salud humana

El agua, el saneamiento y la higiene tienen consecuencias importantes sobre la salud y la enfermedad. Las enfermedades relacionadas con el uso de agua incluyen aquellas causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua potable como la esquistosomiasis, que tiene parte de su ciclo de vida en el agua y la malaria, cuyos vectores están relacionados con el agua. El agua también contribuye a la salud, por ejemplo, a través de la higiene.<sup>3</sup>

Dentro de las enfermedades ocasionadas por la contaminación del agua se encuentran:

- Diarrea. “La enfermedad más importante relacionada con un acceso inadecuado al agua potable es la diarrea, que es la segunda causa de muerte infantil en el mundo, después de las infecciones respiratorias agudas. Se calcula que la diarrea causa la muerte de 1,3 millones de niños al año, lo que representa aproximadamente el 12 % del total de las muertes de niños menores de cinco años en los países en desarrollo”<sup>4</sup>. La diarrea es una consecuencia de muchas enfermedades infecciosas, especialmente fiebre tifoidea, disentería amebica o bacilaria y cólera. La diarrea es un síntoma de infección debido a huéspedes bacteriales, virales y organismos parásitos la mayoría de los cuales se pueden extender por medio de agua contaminada.

---

<sup>3</sup> Organización Mundial de la Salud. *Enfermedades relacionadas con el agua*. <http://goo.gl/MoZabu>. Consulta: 28 de diciembre de 2015.

<sup>4</sup> Organización Mundial de la Salud. *Día mundial de la salud*. <http://www.who.int/world-health-day/previous/2003/background/es/>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

- Arsenicosis. Es una enfermedad crónica que resulta de beber agua con altos niveles de arsénico durante un largo periodo de tiempo (ejemplo de 5 a 20 años). También, se denomina envenenamiento por arsénicos y la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda límites de 0,01 mg/L de arsénico en agua potable. Las consecuencias en la salud incluyen problemas de la piel, cáncer de la piel, cáncer del hígado, riñón y pulmones, problemas de los vasos sanguíneos en los pies y las piernas; otros síntomas posibles son diabetes, alta presión sanguínea y problemas reproductivos”<sup>5</sup>.
- Ascariasis. Es una infección del intestino delgado causado por un gusano redondo denominado *Ascaris lumbricoides*, las cuales en estados larvales se desplazan por todo el cuerpo, pudiendo causar daños viscerales, peritonitis e inflamación, extensión del hígado o bazo, toxicidad y neumonía. Una infección fuerte del gusano puede causar deficiencia nutricional; otras complicaciones, a veces fatales, incluyen obstrucción del intestino por una bola de gusanos (especialmente en niños), obstrucción de la bilis o conducto pancreático. Los menores se infectan más frecuentemente que los adultos, siendo el grupo más susceptible de edades comprendidas entre los 3-8 años. La comida no cocinada, que se ha cultivado en suelos contaminados o regados con agua residual no tratada adecuadamente, puede provocar este tipo de infecciones. Cerca de 1,5 billones de individuos están infectados con el gusano. “La enfermedad es común a nivel mundial, con gran frecuencia en regiones tropicales y subtropicales, y en áreas de inadecuado saneamiento”<sup>6</sup>.

---

<sup>5</sup> Lenntech. *Arsenicosis*. <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/ascariasis/arsenisis.htm>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

<sup>6</sup> *Ibíd.*



- Leptospirosis. Es una enfermedad infecciosa de animales domésticos y especialmente ganado, animales de especie porcina y perros causado por espiroquetas del genero *Leptospira* y caracterizado por ictericia y fiebres. “Se transmite a humanos por contacto directo con la orina de animales infectados o por contacto con ambientes contaminados con orina, como la superficies del agua, suelos y plantas”<sup>7</sup>.
- Gusano de anillo o tinea. Es una erupción superficial de la piel causada por un hongo, los hongos están presentes en el cuerpo de la mayoría de las personas, pero algunas personas son más resistentes a la invasión de los hongos que otras, “se extiende por contacto directo con una persona infectada o animal, contacto con el suelo o por contacto indirecto con objetos contaminados por el hongo”<sup>8</sup>.
- Esquistomiasis. Es una enfermedad parasitaria causada en periodos de inundaciones, por gusanos trematodos del genero *esquistosoma*. Las larvas del parasito están hospedadas en caracoles e infecta humanos que se bañan o entran en contacto con estas aguas. Las larvas entran a través de la piel, migran a través de los vasos sanguíneos, y se desarrolla en los pulmones. Los síntomas tras la infección son rozaduras o picores en la piel. Dos meses tras la infección y cuando los parásitos se desarrollan, se produce fiebre, escalofríos, tos y dolores musculares. Infecciones no tratadas pueden dar lugar a sangre en la orina y deposiciones, extensión del hígado y bazo. La esquistomiasis se considera la infección parasitaria más importante tras la malaria en términos de salud pública e impacto económico. “La enfermedad se

---

<sup>7</sup> Lenntech. *Leptospirosis*. <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/leptospirosis/leptospirosis.htm>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

<sup>8</sup> Lenntech. *Gusano de anillo o Tinea*. <http://www.lenntech.es/biblioteca/enfermedades/tina/tinea.htm>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

produce en Asia, algunas islas del pacífico, África, las Indias del Oeste, Sudamérica, España, Puerto Rico y Chipre”<sup>9</sup>.

## **1.2. El agua residual**

El agua residual es toda aquella agua que es tomada por el hombre y que posterior de su utilización en los hogares y procesos industriales, es descargada en forma de desecho hacia los alcantarillados municipales o cuerpos receptores. Es decir, el agua de calidad potable es modificada debido a la adición de otros elementos que cambian la composición física, química y biológica del agua para ser desechada por su poca o nula reutilización.

El agua residual por sus características físicas, químicas y biológicas es contaminante para la naturaleza, los ecosistemas y los organismos vivos, por tal motivo es necesario conocer sus propiedades y características para considerar un tratamiento adecuado y definir una forma adecuada de descarga hacia un cuerpo receptor, el cual puede ser sensible a determinados parámetros o características de las aguas residuales.

### **1.2.1. Parámetros de calidad del agua residual**

Las propiedades y características en el agua residual se clasifican en físicas, químicas y biológicas. Las físicas son los que no reaccionan con el agua, pero pueden dañar la vida en los ecosistemas. Las químicas son aquellos que alteran la composición del agua y/o reacciona con esta. Las biológicas son organismos o microorganismos directamente dañinos o que se encuentran en excesos indeseables.

---

<sup>9</sup> Lenntech. *Esquistomiasis, bilharziasis o fiebre de caracol*. <http://goo.gl/bKPKrM>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

Entre los contaminantes y los parámetros que reflejan el grado de contaminación están:

- Temperatura. Es una propiedad física y es la cantidad de energía térmica que se encuentra contenida en el agua. Los cambios en la temperatura de un cuerpo de agua pueden dañar o modificar el ecosistema, por lo que es necesario que las aguas residuales estén dentro del rango de temperatura del cuerpo de agua receptor.
- Grasas y aceites. Las grasas y aceites son elementos disueltos en el agua que a temperaturas elevadas se mantienen como una mezcla homogénea, pero en temperaturas bajas forman una mezcla heterogénea de material viscoso y muy contaminante para los cuerpos receptores.
- Materia flotante. Es una característica de las aguas residuales que nos indica que los procesos internos del ente generador de aguas residuales no posean un sistema separativo de desechos sólidos y sea necesario removerlos antes de descargarlos al cuerpo receptor.
- Potencial de hidrógeno y conductividad. Tanto el potencial de hidrógeno como la conductividad eléctrica son parámetros de la materia ionizable presente en el agua y pueden ser indicadores del vertido de ácidos, bases o sales, aunque dependen también del aporte de materia orgánica y procesos hidrogeoquímicos. En las aguas residuales domésticas, el pH debe mantenerse en un rango de 7,0 a 8,5 para evitar que los microorganismos necesarios para la estabilización de la materia orgánica en los sistemas de tratamiento de aguas residuales mueran.

- Partículas sólidas o en suspensión. Son aquellas partículas que se encuentran presentes en el agua; están sujetos a descomposición o degradación por actividad de bacterias. Pueden mencionarse entre estos, los sólidos inorgánicos los cuales son sustancias inertes que no se degradan y están conformados en su mayoría por minerales y sales, su presentación más común son las arenas.
- Turbidez. Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá esta y más alta será la turbidez.
- Sólidos totales disueltos. Es la medida de la cantidad total de materias disueltas en el agua; por ejemplo, calcio, magnesio, cloro, sulfatos, entre otros, los cuales en el agua residual no todos los sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal, aproximadamente un 90 % está verdaderamente disuelto y un 10 % en estado coloidal.
- Materia orgánica. Las poblaciones localizadas en las partes altas de las cuencas descargan sus aguas residuales sin tratamiento y abundante contenido de materia orgánica directa o indirectamente, en los cuerpos de agua. Esto causa la contaminación y la disminución de la calidad del agua para consumo humano, recreativo, industrial y para otros fines.
- Oxígeno disuelto (OD). Es la cantidad de oxígeno que esta disuelta en el agua. Su nivel indica cuan contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte a la vida vegetal y animal; si sus niveles son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Este

parámetro puede ser utilizado en los cuerpos receptores para analizar la calidad o el estado de envejecimiento del cuerpo.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Es la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas negras o desechos. Como esta descomposición requiere un periodo grande de tiempo o depende de la temperatura, los valores de la DBO de las pruebas de laboratorio deben especificar el tiempo y la temperatura utilizados en la prueba. Los parámetros que generalmente se emplean son la DBO<sub>5</sub>, 5 días y 20 °C.
- Demanda química de oxígeno (DQO). Este parámetro mide la cantidad de oxígeno necesaria para efectuar la oxidación por medios químicos de la materia orgánica presente en aguas superficiales. El valor obtenido es siempre superior a la demanda biológica de oxígeno, ya que se oxidan por este método también las sustancias no biodegradables, cuya concentración es generalmente mayor en las aguas residuales o contaminadas.
- Nutrientes. Son los contaminantes responsables de la eutrofización de los cuerpos de agua debido al crecimiento desmedido de algas y plantas por el aumento desmedido de alimento procedente de los fosfatos, nitratos y sulfatos, los cuales poseen un ciclo natural dentro de la corteza terrestre, los cuales se denominan ciclos biogeoquímicos del nitrógeno, fósforo y azufre.
- Microorganismos. La contaminación microbiológica de las fuentes de agua, ya sean superficiales o profundas, es un hecho ampliamente difundido, siendo los microorganismos provenientes de la contaminación

por excretas humanos y de animales, los que mayor riesgo presentan para la salud humana. Estos microorganismos pueden ser bacterias (*Salmonella*, *Shigella*, *Escherichiacoli*), virus (hepatitis A y E, rotavirus, *Adenovirus*) y parásitos (Cryptosporidios, coliformes, entre otros). En los análisis bacteriológicos se busca determinar el número más probable de colonias de bacterias, como principal indicador del grupo de bacterias denominadas coliformes fecales.

- Contaminantes tóxicos y/o cancerígenos. Producto del desarrollo industrial y el avance de la tecnología, el ser humano ha desarrollado y sintetizado a nivel industrial sustancias que no se encuentran en la naturaleza. Se pueden mencionar principalmente los contaminantes orgánicos persistentes (COPs), los cuales conforman una lista negra de sustancias químicas peligrosas de características altamente peligrosas, bioacumulativos; es decir, su acumulación es mayor en los seres vivos que en el ambiente que los rodea debido a su lipofilia, son persistentes debido a que no sufren degradación, pueden sufrir transporte de largo rango a través del aire o agua y presentan biomagnificación; es decir, e acumulan en los niveles altos de la cadena trófica. Su peligrosidad ha sido comprobada por un grupo de expertos por medio de un convenio internacional para la reducción de la generación o eliminación de los mismos, conocido como el Convenio de Estocolmo, el cual se desarrolla en el inciso 1.4.5.2 del presente capítulo.
- Plaguicidas. Los pesticidas y plaguicidas son sustancias que pueden matar directamente a organismos no deseados o bien controlarlos, por ejemplo, interfiriendo con el proceso reproductivo. Todos los pesticidas químicos presentan la propiedad común de bloquear procesos metabólicos vitales de los organismos.

- Metales pesados y otros elementos químicos. Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua se destacan el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo; su procedencia puede ser natural o por vertidos de rieles industriales.

Las características de potabilidad del agua que consume el ser humano y en sus procesos industriales se ven modificadas por la alteración de los parámetros vistos anteriormente y sustancias contenidas debido a la adición de los contaminantes mencionados, y que en cantidades muy elevadas no es posible que un cuerpo de agua pueda amortiguar, por lo que ocurren procesos serios como la eutrofización, reducción del contenido de oxígeno y la incapacidad de sostener la vida animal en el cuerpo.

### **1.2.2. Caracterización de aguas residuales**

Para efectos de caracterización y evaluación de la calidad de un efluente, es necesario evaluar sus características físicas, químicas y biológicas y dependiendo de su procedencia puede realizarse análisis específicos y más profundos del efluente de interés; así para una determinada industria, actividad comercial o una comunidad, es necesario identificar los elementos de los procesos que forman parte de los desechos líquidos industriales y cuantificar los elementos que influyen directamente en la calidad del agua.

Por ejemplo, para un determinado complejo comercial el cual posea un área específica para restaurantes de distintos tipos de alimentos, pueden esperarse cargas orgánicas elevadas debido a las grasas y aceites en la preparación de alimentos, así como los desechos sólidos de desperdicios de

alimentos que pueden llegar al drenaje. Esta premisa se verá reflejada en los resultados de la evaluación, específicamente, en los parámetros de la DBO<sub>5</sub>, grasas y aceites y sólidos suspendidos.

Otro ejemplo podría detallarse en una industria textil cuyo proceso principal sea la tinción de telas, en donde el teñido es un proceso químico en el que se añade un colorante a los textiles con el fin de que esta sustancia se convierta en parte de este textil y tenga un color diferente al original, así como otros compuestos químicos para incrementar la calidad del producto como suavidad, firmeza, textura, resistencia a la luz y al lavado, se pueden esperar resultados elevados del efluente en los parámetros físicos de color y temperatura; así mismo, se esperan cambios en los parámetros de pH y DQO.

Sin embargo, las características de evaluación pueden resumirse en los parámetros de calidad de agua mencionados en el inciso anterior exceptuando los plaguicidas y compuestos tóxicos, los cuales deberán realizarse cuando un experto en la materia deduzca que sean necesarios realizarlos como en una planta de lavado de cultivos o en una industria específica.

De igual manera, la caracterización del agua residual no se limita únicamente al análisis de los elementos que la componen por su análisis cualitativo de los parámetros en un laboratorio; también, se puede caracterizar por la medida cuantitativa de la totalidad de agua descargada y su periodicidad o comportamiento de descarga.

Es decir, para el comportamiento de las descargas de aguas residuales para una complejo residencial se espera que sean realizadas durante el día a partir de las 4:00 horas, horario durante el cual los habitantes inician sus actividades cotidianas de aseo personal, uso de servicios sanitarios,



preparación de alimentos, entre otros, sea disminuido durante el período de la mañana dado que los habitantes se encuentran en sus actividades laborales o estudiantiles; aumentándose nuevamente en el horario del medio día por el horario del almuerzo y disminuyendo por la tarde; nuevamente aumentado en la tarde noche, horario durante el cual las personas retornan a sus hogares. Este comportamiento será completamente distinto para los resultados de una industria que realice procesos distintos en un día o por temporadas de producción estacional, un centro comercial o un edificio de oficinas.

Por tal motivo, es necesario implementar una metodología de análisis que representen en su totalidad las características del efluente en consideración, y que tome en cuenta las actividades que se desarrollen dentro de las instalaciones que generan las aguas residuales, de tal manera que se identifique la necesidad de un muestreo simple o compuesto.

#### **1.2.2.1. Muestreo simple**

Un muestreo simple consiste en la captación de una alícuota en un determinado período de tiempo durante la cual se realicen las descargas de aguas residuales. Esta muestra representa las características y cualidades del agua residual en el momento de la descarga, el momento en el cual fue captada la muestra.

#### **1.2.2.2. Muestreo compuesto**

Un muestreo compuesto consiste en la composición de varias muestras simples, captadas en determinados intervalos de tiempo y que representan las características del agua durante el intervalo de tiempo en el cual se realizó la captación de las muestras.

### **1.2.2.3. Medición de caudal**

El caudal es un dato importante en la caracterización de un efluente, dado que indica la magnitud de la contaminación que se descarga a un cuerpo receptor o bien las dimensiones que debe poseer un sistema de tratamiento.

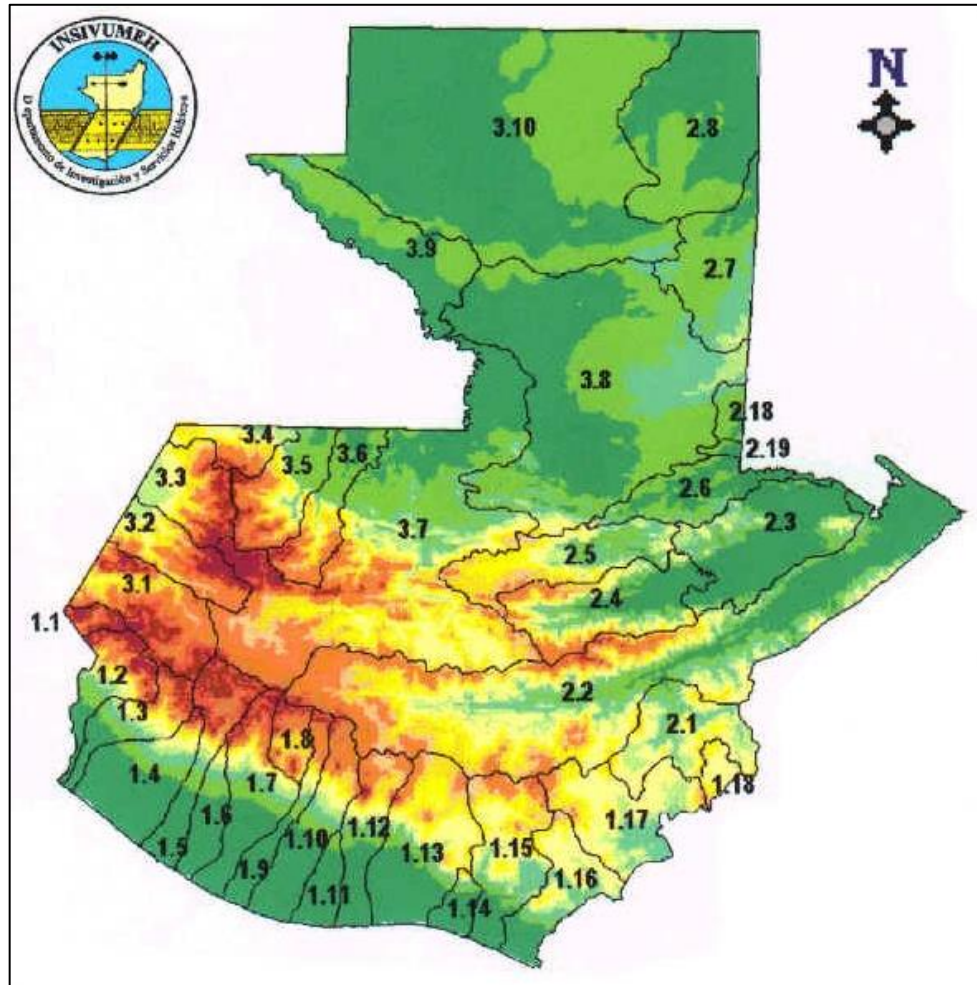
Este se puede realizar por distintas metodologías las cuales el técnico o profesional encargado deberá aplicar según las características de descarga; entre ellas se pueden mencionar la medición del caudal volumétrica, la cual consiste en el aforo de un volumen conocido e identificar el tiempo en que este es aforado; también, se encuentran metodologías complejas la medición por medio de dispositivos hidráulicos como los canales Parshall y vertederos.

### **1.2.3. Río La Pasión, desastre ecológico y social en Sayaxché Petén**

La red hidrológica de Guatemala se compone de 38 cuencas hidrográficas, las cuales son las áreas tributarias de precipitación pluvial hacia un río. Es decir, toda el área que drena por un río, los límites de dicha cuenca se obtiene de la topografía del lugar y delimitan el área que tributa hacia un mismo río.

Así mismo, la red hidrológica se puede dividir en tres grandes vertientes, de acuerdo al punto donde desembocan finalmente todos los ríos que atraviesan o que nacen en el territorio nacional: las vertientes del Pacífico, Atlántico y del Golfo de México.

Figura 4. Mapa de cuencas y vertientes de la República de Guatemala



Fuente: Insivumeh. *Programa hidrológico*. <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/meteorologia.html>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

En la vertiente del Golfo de México, donde se encuentran los ríos más caudalosos del país, Usumacinta, Chixoy y La Pasión, debido a que las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estables y los recorridos más sinuosos, con pendientes relativamente suaves, se encuentra la cuenca del río La Pasión.

Tabla I. **Ríos y vertientes de la red hidrológica de la República de Guatemala**

Vertiente del Pacífico		Vertiente del Atlántico	Vertiente del Golfo de México
1.1 Coatán	1.10 Coyolate	2.1 Grande	3.1 Cuilco
1.2 Suchiate	1.11 Acomé	2.2 Motagua	3.2 Selegua
1.3 Naranjo	1.12 Achiguate	2.3 Río Dulce	3.3 Nentón
1.4 Ocosito	1.13 María linda	2.4 Polochic	3.4 Pojom
1.5 Samalá	1.14 Paso Hondo	2.5 Cahabón	3.5 Ixcan
1.6 Sis-Icán	1.15 Los Esclavos	2.6 Sarstún	3.6 Xaclbal
1.7 Nahualate	1.16 Paz	2.7 Mopán-Belice	3.7 Salinas
1.8 Atitlán	1.17 Ostúa-Güija	2.8 Hondo	3.8 Pasión
1.9 Madre Vieja	1.18 Olopa	2.19 Moho	3.9 Usumacinta
		2.19 Temans	3.10 San Pedro

Fuente: Insivumeh. *Programa hidrológico*. <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/meteorologia.html>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

La cuenca del río La Pasión tiene un área de 12 156 km<sup>2</sup>, con una longitud de 353,90 kms, que lo convierte en uno de los principales ríos de Guatemala por su navegación de embarcaciones pequeñas. Se encuentra ubicado al norte, en el poblado de Sayaxché, en el departamento del Petén; nace en la región central del territorio guatemalteco y posteriormente se dirige al norte, alimentado de los ríos Chajmaic y Sebol, finalmente, desemboca en el río Usumacinta y este por su parte lo hace en el Golfo de México.

La Pasión suple las necesidades hídricas de una gran parte del departamento de Petén, el cual cuenta con una población aproximada de 144 932 habitantes para el 2013. En dicho departamento las principales actividades económicas con la agricultura, la ganadería, el turismo y últimamente la producción de aceite de palma; una actividad nociva para el territorio y principalmente para la cuenca del río La Pasión.

Figura 5. **Ubicación de planta REPSA en río La Pasión**



Fuente: *Prensa Libre*. <http://www.prensalibre.com/guatemala/mortandad-de-peces-abarca-105-kilometros-1>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

La contaminación del río La Pasión, en Sayaxché Petén, es uno de los desastres ecológicos más atroces del país, el cual tuvo lugar a finales de abril del año 2015, concretamente el 28, cuando las fuertes lluvias provocaron el desbordamiento de las piletas de oxidación de la empresa Reforestación de Palma del Petén (REPSA) que causa un consumo excesivo de oxígeno en el río, que forma una capa de aproximadamente 60 o 70 centímetros de profundidad a partir de la superficie, se deja debajo de esa capa a todos los organismos; por tanto, los organismos se asfixiaron; toda manifestación de vida que estaba bajo ese nivel murió y fue arrastrado por la corriente y salió a flote río abajo. Según el “Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Óscar Medinilla, un día después comenzó la mortandad de peces en los tramos aledaños a sus plantaciones”<sup>10</sup>

<sup>10</sup> *Diario digital soy502*. <http://www.soy502.com/articulo/dia-sayaxche-nunca-olvidaraAgroindus-triasHAME>. Consulta: 15 de noviembre de 2015.

Durante la fase inicial de las investigaciones del suceso, los pobladores junto con organizaciones ambientalistas, académicas e incluso autoridades gubernamentales coincidieron en señalar que la contaminación es producida por un químico llamado Malation; se calculó que la contaminación tuvo un rango de 150 kms del río La Pasión que afectó poblaciones de peces, reptiles, mamíferos y otras vidas que también se alimentan del río; aunado a los problemas que afectaron directamente a las poblaciones que viven a la ribera del río, con nefasto costo en su vida cotidiana.

Figura 6. **Desastre ecológico río La Pasión**























Fuente: *Prensa Libre*. *Desastre ecológico en río La Pasión*. <http://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/desastre-ecologico-en-rio-la-pasion>. Consulta: 17 de junio de 2015.

El efecto colateral de la contaminación en el río La Pasión no es solamente la muerte de las especies biológicas: también, todo el efecto social y económico que tiene, pues el río provee de recurso alimentario a las

comunidades que viven alrededor. Además, el agua es utilizada por las poblaciones aledañas para consumir y sobrevivir, tomando en cuenta que los efectos son residuales y afectaron la salud humana, porque hay muchos químicos relacionados a fertilizantes e insecticidas, estos se bioacumulan en los tejidos humanos.

Figura 7. **Listado de especies muertas encontradas en río La Pasión**

				
Pez Blanco	Mojarra pozolera	Bagre	Machaca	Chopa
				
Agujón asimétrico	Anguila	Jolote	Palometa	Robalo
				
Pez sapo	Pez diablo	Mojarra de salvini	Xixi	Pejelagarto
				
Tepemichi	Curco	Juilin	Mojarra de piedra	Sardina de leche

Fuente: *Diario digital Soy502*. <http://www.soy502.com/articulo/recuento-danos-23-especies-murieron-rio-pasion>. Consulta: 17 de junio de 2015.

### 1.2.3.1. Punto de vista legal

Las sanciones que se pueden aplicar en el respectivo caso de estudio se encuentran contenidas en el *Código Penal*, Decreto 17-73, artículo 347 por caso de contaminación:

- “Artículo 347 a) Contaminación. Será sancionado con prisión de uno a dos años, y multa de trescientos a cinco mil quetzales, el que contaminare el aire, el suelo o las aguas.
- Artículo 347 b) Contaminación industrial. Se impondrá prisión de dos a diez años y multa de tres mil a diez mil quetzales”<sup>11</sup>.

Adicional, se pueden, enunciar que la empresa carece de estudio de impacto ambiental, un instrumento esencial para toda actividad desarrollada dentro del territorio nacional y que ninguna actividad puede realizarse sin antes haber realizar dicho estudio, según los artículos 85-86 del *Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental*:

- “Artículo 86 Aplicación de multas en caso a) omitiere la presentación del estudio de impacto ambiental que corresponda”<sup>12</sup>.

### 1.3. Tratamiento de aguas residuales

Las metodologías para el tratamiento de aguas residuales es un tema de amplia discusión, y no existe un procedimiento establecido que cumpla con los

---

<sup>11</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Código Penal de Guatemala, Decreto No. 17-73*. [http://www.un.org/depts/los/LEGISLATIONANDTREATIES/PDFFILES/GTM\\_codigo\\_penal.pdf](http://www.un.org/depts/los/LEGISLATIONANDTREATIES/PDFFILES/GTM_codigo_penal.pdf). Consulta: 11 de octubre de 2017.

<sup>12</sup> *Ibíd.*



estándares de descarga para todo tipo de aguas residuales; más bien debe realizarse un estudio intensivo de las características del agua residual y seleccionar una configuración de tratamiento, con base en las aplicaciones, eficiencias y condiciones sociales, económicas y culturales de la sociedad. Sin embargo, a continuación, se detallan los principales componentes de un sistema de tratamiento.

### **1.3.1. Tratamiento preliminar**

Un sistema de tratamiento preliminar tiene el objetivo de acondicionar el agua residual para posteriores tratamientos, los cuales buscan modificar únicamente propiedades físicas, por ejemplo, los sólidos flotantes por medio de una rejilla de retención, o bien un tanque ecualizador el cual capte el agua residual y homogenice los caudales y los contaminantes de las aguas residuales para su posterior tratamiento. Entre los tratamientos preliminares se puede mencionar los siguientes:

- Rejillas. Las rejillas son elementos físicos de diferentes tamices que impiden el paso de los sólidos flotantes; estos elementos deben ser sujetos de limpieza diariamente y disponer finalmente de los desechos por medio del tren de aseo.
- Trampa de grasas. Este mecanismo utiliza el principio de separación de un contaminante por medio de la retención del flujo hidráulico y fases heterogéneas de los compuestos para remover las grasas, aceites y lubricantes, los cuales deben de ser removidos periódicamente para un nuevo ciclo de tratamiento y remoción.

- Tanque homogenizador. Este elemento busca la estabilización de los flujos hidráulicos que ingresan a la planta de tratamiento, así como la homogenización de cargas contaminantes que pudieran ser variables en el día.
- Desarenadores. Buscan eliminar sólidos de pequeño diámetro pero de alta densidad que pudieran ocasionar problemas de mantenimiento en posteriores fases de tratamiento o equipos sensibles a estos materiales; por medio de retención hidráulica, los elementos de mayor densidad específica se depositarán en los canales de sedimentación, dejando ingresar a posteriores tratamientos únicamente aguas sin sólidos.
- Dispositivos de medición de caudal. Sirven para determinar el caudal instantáneo que ingresa a la planta de tratamiento y conocer si se encuentra dentro del rango de su capacidad. Para ello se pueden utilizar dispositivos hidráulicos conocidos como canales Parshall y vertederos de distintas formas geométricas.

### **1.3.2. Tratamiento primario**

Un tratamiento primario es un proceso que busca la remoción de un conjunto de contaminantes comunes que impacten directamente en la disminución del principal parámetro indicador de contaminación, como lo es la demanda biológica de oxígeno. Esto se puede lograr por medio de la remoción de los sólidos los cuales son los núcleos donde se encuentra concentrada la contaminación.

- Sedimentadores primarios. Su objetivo es remover los sólidos por medio de la gravedad inactiva. Una gran porción de las aguas residuales

domésticas se compone de sólidos que se encuentran diluidos en el afluente y que son de alta carga contaminante por lo que eliminar estos componentes disminuye considerablemente la carga contaminante.

Este tratamiento remueve alrededor del 60 % de los sólidos suspendidos, 30 % de la demanda biológica de oxígeno y un 20 % de fósforo; estos dos últimos remueven únicamente los elementos que no han sido diluidos y que son removidos con la sedimentación de los sólidos.

- Fosa séptica. Son un tratamiento primario con el principio de sedimentación, los cuales se utilizan generalmente en los sistemas de tratamiento domiciliarios que no poseen cargas contaminantes adicionales a las ordinarias.
- Tanques Imhoff. Aunque el proceso de tratamiento es similar al tanque de una fosa séptica, se diferencian en que el tanque Imhoff tiene dos pisos: uno, superior, donde se produce la sedimentación; otro inferior, donde tiene lugar la digestión de los sólidos sedimentados.

### **1.3.3. Tratamiento secundario**

En este punto de tratamiento, el afluente ha perdido una cantidad significativa de material de partículas que contenían altas concentraciones de contaminación; sin embargo, aún se encuentra una carga contaminante contenida disuelta de materia orgánica, la cual aún demanda una gran cantidad de oxígeno para poder ser depurada.

El tratamiento secundario es un proceso de tratamiento biológico que impacta en la reducción de los contaminantes orgánicos y, por ende, tiene más

aplicaciones para la depuración de efluentes domésticos. Para la reducción de estos contaminantes son utilizados los microorganismos, por medio de sus procesos biológicos y su capacidad de reducir los contaminantes por medio de su digestión, los cuales los degradan en sustancias más sencillas como bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Dentro de este proceso participan distintos microorganismos tales como bacterias, cocos, bacilos, vibriones y espiroquetas y son los principales organismos que intervienen en la degradación de la materia debido a su abundancia en los efluentes. Con base en su afinidad con el oxígeno, las bacterias son aerobias o anaerobias. Las que requieren un ambiente con oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ ) para desarrollarse, se denominan aerobias; las bacterias que proliferan en un ambiente carente de oxígeno son anaerobias; también, existen bacterias que pueden desarrollarse en ambientes aerobios o anaerobios las cuales se conocen como facultativas.

Por tal motivo, un tratamiento secundario se convierte en un reactor que conjunte las condiciones necesarias para sustentar la vida y los ciclos biológicos de los microorganismos y su tecnología es ampliamente desarrollada; sin embargo, poseen nombres definidos para este amplio campo de tratamiento, tales como los lodos activados, lechos de contacto como los reactores anaeróbicos de flujo ascendente, filtros percoladores, tanques Imhoff en la fase de digestión de lodos, lagunas de oxidación, entre otros.

- Reactores anaeróbicos. Es el tratamiento que utiliza el conjunto de las bacterias anaeróbicas; es decir, no utilizan el oxígeno dentro de su metabolismo y pueden degradar la materia orgánica en ausencia de ella. Para ello las bacterias necesitan una superficie de soporte en donde

puedan reproducirse y estar en contacto con el agua a tratar; estas superficies de soporte pueden ser desde dispositivos de polímeros de alta densidad de formas geométricas que favorezcan el aumento del área superficial hasta los lechos de lodos activados los cuales son material rico en microorganismos anaeróbicos.

- Filtros percoladores. Es el tratamiento que utiliza el conjunto de las bacterias aeróbicas; es decir, aquellas que necesitan el oxígeno dentro de su metabolismo para degradar la materia orgánica. Al igual que los reactores anaeróbicos, estos microorganismos necesitan de un medio de soporte para realizar su función; sin embargo, en este caso, los soportes se encuentran en contacto directo con la atmosfera y el agua residual es vertida sobre ellos, manteniendo un flujo constante.
- Lagunas de estabilización u oxidación. Son depósitos de agua de profundidad de entre 1 y 3,5 mts; tienen como finalidad estabilizar la materia orgánica presente en las aguas residuales. Son de alta eficiencia debido a que ocurren varios procesos que únicamente pueden compararse con el conjunto de las descritas anteriormente. En este tratamiento ocurren procesos de homogenización, sedimentación; poseen una fase aeróbica en la superficie de las lagunas y anaeróbica en el lecho de esta; también, ocurre el proceso de desinfección por la radiación ultravioleta del sol.

#### **1.3.4. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario es un proceso unitario o varios procesos destinado a la remoción de un contaminante en específico que no pudo ser tratado en los

anteriores procesos de tratamiento o bien para cumplir con un parámetro de descarga especial en zonas sensibles a contaminantes específicos.

Un tratamiento terciario puede ser un proceso tan simple como la implementación de la cloración para la desinfección del efluente, así como procesos de tratamiento para la remoción de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno que no pudieron ser reducidos en el tratamiento secundario; tales sistemas pueden ser la filtración, oxidación química, intercambio iónico, nivelación de pH, precipitación, nitrificación, adsorción, coagulación, etc.

**Tabla II. Comparación de tratamientos de aguas residuales y eficiencias de remoción de contaminante**

Proceso de tratamiento	Nivel de tratamiento	Clasificación proceso de tratamiento	Contaminante que remueve	Eficiencia de remoción del contaminante
Rejilla	Preliminar	Físico	Sólidos no deseables	---
Desarenador	Preliminar	Físico	SS inorgánicos DBO <sub>5</sub> Bacterias Coliformes	5-20 % 5-10 % 10-20 % -----
Sedimentador primario	Primario	Físico	SS inorgánicos DBO <sub>5</sub> Bacterias Coliformes DQO P <sub>total</sub> N <sub>orgánico</sub> NH <sub>3</sub>	40-70 % 25-40 % 10-20 % 40-60 % 30-40 % 10-20 % 10-20 % -----
Fosa séptica	Primario	Físico	SS inorgánicos DBO <sub>5</sub> Bacterias Coliformes DQO P <sub>total</sub> N <sub>orgánico</sub>	40-70 % 30-35 % 70-80 % 80-90 % ----- 15-50 % -----
Tanque Imhoff	Primario y secundario	Físico, biológico	SS inorgánicos DBO <sub>5</sub> Bacterias Coliformes	50-90 % 40-50 % ----- -----

Continuación de la tabla II.

Lodos activados	Secundario	Físico, biológico	SS <sub>inorgánicos</sub> DBO <sub>5</sub> Bacterias Coliformes DQO P <sub>total</sub> N <sub>orgánico</sub> NH <sub>3</sub>	80-95 % 75-95 % 90-98 % ----- 80-85 % 10-25 % 15-50 % 8-15 %
Filtros percoladores	Secundario	Biológico	SS <sub>inorgánicos</sub> DBO <sub>5</sub> Bacterias Coliformes DQO P <sub>total</sub> N <sub>orgánico</sub> NH <sub>3</sub>	60-90 % 60-85 % 70-95 % 80-90 % 60-80 % 8-12 % 15-50 % 8-15 %
Reactor anerobio de flujo ascendente	Secundario	Físico, biológico	SS <sub>orgánicos</sub>	60-95 %
Laguna de estabilización	Primario, secundario y terciario	Físico, químico, microbiológico y biológico	SS <sub>inorgánicos</sub> DBO <sub>5</sub> Bacterias Coliformes DQO P <sub>total</sub> N <sub>orgánico</sub> NH <sub>3</sub>	90-98 % 75-95 % 90-95 % 99-99 % 70 % 40 % 45 % -----
Desinfección con cloro	Terciario	Químico y microbiológico	Bacterias Coliformes DQO	90-99 % 88-99 % -----

Fuente: elaboración propia.

### 1.3.5. Tratamiento de lodos

Los lodos son el segundo producto del tratamiento de las aguas residuales; el primero es el agua residual con remoción o disminución de contaminantes, y no son más que la concentración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, y

son el producto de los desechos de los microorganismos que han utilizado el agua residual como alimento, la han degradado a sustancias menos complejas.

Una buena parte de los lodos son el producto de la sedimentación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales como sólidos suspendidos; y como se ve en los subcapítulos anteriores, en los tratamientos secundarios, son el elemento adecuado para dar soporte a los microorganismos; es por ello, que en muchos sistemas de tratamiento se recirculan para obtener mayores niveles de eficiencia en la remoción de la DBO<sub>5</sub>. Este tipo de tratamiento se llama lodos activados.

Los lodos, al ser una carga concentrada de contaminación y microorganismos, son una fase heterogénea de los sistemas de tratamiento altamente activos biológicamente y es donde ocurre la metanogénesis; es decir, la generación del gas metano como subproducto de desecho de las bacterias anaeróbicas.

Debido a que los lodos son un producto que se mantiene dentro del sistema de tratamiento y que son extraídos para su tratamiento periódicamente, poseen altas concentraciones de contaminantes, los cuales pueden ser muy dañinos para el medio ambiente y la salud de los seres humanos; estos deben ser tratados con especial cuidado antes de disponerlos finalmente en el medio ambiente o confinamiento en rellenos sanitarios.

La digestión aerobia es un proceso donde ocurre una aireación, por un período significativo de tiempo, de una mezcla de lodo digerible extraído de las plantas de tratamiento de sus clarificadores o sedimentadores primarios, con el resultado de una destrucción de células, y una disminución de los lodos en suspensión volátiles.



Como es bien sabido, la materia no se crea ni se destruye, únicamente cambia de estado, y es aplicable a los tratamientos de los lodos extraídos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, debido a que el objetivo de la digestión aerobia es reducir el total de lodos que se deben evacuar posteriormente. Esta reducción es el resultado de la conversión, por oxidación, de una parte sustancial de lodo en productos volátiles (dióxido de carbono, amoníaco e hidrógeno).

#### **1.4. Nociones del derecho ambiental**

El derecho ambiental es la parte más importante que rige las normas y las consecuencias legales de las actividades de los seres humanos en sus vidas cotidianas en relación al cuidado del medio ambiente. Para normar todas estas actividades existen diferentes leyes, reglamentos y acuerdos internacionales, los cuales pueden variar de una región geográfica a otra. Así mismo, dada la cantidad de normas, es necesario jerarquizarlas para aplicarlas. Para efectos del presente trabajo de investigación se refiere a dicha jerarquía por medio de la pirámide de Kelsen.

La pirámide de Kelsen indica que “para describir la relación que se establece así entre dos normas, una de las cuales es el fundamento de la validez de la otra, puede recurrirse a imágenes espaciales y hablar de norma superior y de norma inferior, de subordinación de la segunda a la primera”<sup>13</sup>.

Hans Kelsen fue un filósofo del derecho austriaco, autor de la Teoría pura del Derecho, en donde explica que hay una estructura jerárquica en las leyes y sus normas se distribuyen en diversos estratos superpuestos. La unidad del orden reside en el hecho de que la creación de una norma está determinada por

---

<sup>13</sup> KELSEN, Hans. *Teoría pura del derecho*. p. 112.

otra norma, cuya creación, a su vez, ha sido determinada por una tercera norma. Así de este modo, se remonta hasta la norma fundamental de la cual depende la validez del orden jurídico en su conjunto.

Figura 8. **Pirámide de Kelsen sobre jerarquía jurídica ambiental para aguas residuales**



Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se desprende que la máxima ley es la *Constitución de la República de Guatemala*, que se coloca en la cima de dicha pirámide invertida; da paso posteriormente, en el segundo nivel, a las leyes y los tratados o pactos internacionales que el país haya suscrito y que formarán parte del sistema legal interno; con base en esa jerarquía, en el tercer nivel, están los reglamentos emitidos por ordenanza de las leyes de nivel anterior; y en el cuarto nivel están las políticas, planes y normas que cada organismo administrativo ponga a

disposición de dominio público. Es así como gradualmente, se colocan las leyes, reglamentos, códigos, entre otros.

En la figura 8 se ilustra la pirámide de Kelsen aplicable al presente trabajo de investigación, donde se explica la relación de las distintas normas sujetas de estudio y su jerarquía.

### **1.5. Legislación nacional**

Para Guatemala, como para muchos otros países del mundo, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo (Suecia) en 1972, marcó el punto de partida definitivo para avanzar en los temas legislativos referentes a la protección y conservación del medio ambiente.

El Presidente de la República, el General Carlos Manuel Arana Osorio, con el fin de cumplir con una de las recomendaciones dadas en la Conferencia de Estocolmo, en el sentido de crear un instrumento adecuado para planificar, coordinar y ejecutar un plan nacional para alcanzar los objetivos de velar, conservar y mejorar el medio ambiente, creó una Comisión Ministerial encargada de la Conservación y Mejoramiento del Medio Humano, por Acuerdo Gubernativo de fecha 3 de mayo de 1973.

Dicha comisión fue integrada por los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social, Comunicaciones y Obras Públicas, Agricultura, Relaciones Exteriores, Gobernación y Defensa Nacional. La comisión fue ampliamente facultada para dictar las medidas que estimare necesarias, tendientes a resolver el problema de la contaminación en Guatemala. En el Acuerdo Gubernativo que acordó crear la comisión mencionada, se declaró de

emergencia nacional la contaminación del medio ambiente en el territorio de la república, incluyendo el espacio aéreo, las aguas de la zona marítima que ciñen las costas, los lagos, las vertientes, la fauna y la flora.

El 20 de enero de 1975, el Ministro de Gobernación, en su calidad de Presidente de la Comisión Ministerial encargada de la Conservación y Mejoramiento del Medio Humano, acordó crear, por Acuerdo Ministerial, a nivel técnico, la Comisión Asesora del Presidente de la Comisión Ministerial encargada de la Conservación y Mejoramiento del Medio Humano, la que funcionó bajo la coordinación del viceministro del ministerio antes indicado y tuvo los siguientes fines:

- Asesorar al presidente de la comisión ministerial en asuntos relacionados con el medio ambiente.
- Dictaminar y emitir opinión sobre todos aquellos asuntos que le fueron propuestos por el presidente de la comisión ministerial o el coordinador de la comisión asesora.
- Proponer normas y reglamentos relacionados con la problemática ambiental y conocer de aquellas agresiones ecológicas que cualquiera de sus miembros estimara debían analizarse, para determinar si procedía trasladarlas a la comisión ministerial.

La comisión asesora presentó, en octubre de 1976, un anteproyecto de *Ley de conservación y mejoramiento del medio ambiente*, producto de los trabajos y conclusiones obtenidos en el Primer Seminario sobre Problemas Ambientales en Guatemala, organizado por el Ministerio de Gobernación, en el mes de junio del año indicado, y en el que participaron representantes de

cuarenta y cuatro instituciones técnicas, universidades y dependencias gubernativas.

A partir de la creación de la referida comisión hasta el 19 de diciembre de 1986, se vieron revelados los frutos de varios esfuerzos multidisciplinarios y sectores interesados, tomando en cuenta la creación en 1986 de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), la cual tenía como función específica preparar un proyecto de ley que normara todo lo referente al medio ambiente, fue aprobado el proyecto de *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*, Decreto Número 68-86 del Congreso de la República, lo cual constituyó un gran triunfo histórico. Con la emisión de este cuerpo normativo se estableció un nuevo orden jurídico que dio inicio al derecho ambiental guatemalteco.

A continuación, se pretende exponer la cantidad de normativas nacionales que en la actualidad se encuentran vigentes y que tienen injerencia en el presente trabajo de graduación para la regulación de la contaminación de los cuerpos de agua y de las descarga de aguas residuales.

### **1.5.1. Constitución Política de la República de Guatemala**

La Constitución Política de la República de Guatemala se remonta a 1944 cuando se produjo el movimiento nacional-revolucionario que tuvo alcance hasta la siguiente década, tras la caída del dictador General Jorge Ubico, y por una revolución cívico-militar el 20 de octubre de 1944 la cual integró el Poder Ejecutivo por una Junta Directiva de tres miembros: el capitán Jacobo Arbenz, el mayor Francisco Javier Arana y el comerciante Jorge Toriello, quienes derogaron la Constitución y posteriormente tras varios sucesos de reformas,

lograron dar a luz la nueva forma legal de la República con la Constitución del 15 de marzo de 1945.

“Durante este período se pudo experimentar el funcionamiento real de una democracia liberal con sistema partidario en su primera época y en sus últimos años un proceso de radicalización a la izquierda, que culminó con una intervención extranjera en 1954, que concluyó en el derrocamiento del presidente Jacobo Arbenz”<sup>14</sup>.

“Posterior a esta constitución, debido a la implementación de los programas reformistas principalmente del gobierno de Arbenz, fueron enfrentados por una derecha interna cada vez más aglutinada y fuerte, y con los intereses norteamericanos que se vieron afectados con la aplicación de la reforma agraria como se describió anteriormente, que tras varios escarceos, terminaron con el derrocamiento en junio de 1954 del régimen revolucionario guatemalteco, de la mano del caudillo de la contrarrevolución, el coronel Carlos Castillo Armas, quien se apresuró a derogar la constitución revolucionaria, la cual fue sustituida por una nueva en 1956”<sup>15</sup>.

Posteriormente, en una nueva experiencia, el ejército como institución tomó el poder a través de un golpe de Estado el 31 de marzo de 1963 que derrocó al presidente constitucionalmente electo, Manuel Idígoras Fuentes, que provocó una derogación inexplicable de la constitución de 1956, la cual dio inicio a la discusión por una comisión de 25 miembros para la aprobación del nuevo texto finalmente el 15 de septiembre de 1965, el cual se encuentra vigente a la fecha con diversas modificaciones en pro de la República.

Según la pirámide de Kelsen, que defiende que la validez de todas las normas jurídicas emanan y depende de otra norma superior, a la que el resto deben su validez y su eficacia, este documento, la *Constitución Política de la República de Guatemala*, es el documento que se encuentra en la cima de la

---

<sup>14</sup> GARCÍA, Jorge Mario. *Política y constitución en Guatemala*. p. 208.

<sup>15</sup> *Ibíd.* p. 228.

jerarquía de normas, por ende, es de suma importancia el estudio de sus artículos para verificar la validez de los siguientes documentos y su relación con el derecho ambiental.

Los principales artículos que se pueden mencionar que dan origen a las distintas, leyes, acuerdos y reglamentos para el accionar en materia ambiental del país se encuentran los siguientes:

- “Artículo 93. derecho a la salud. El goce de la salud es derecho fundamental del ser humano, sin discriminación alguna.
  
- Artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.
  
- Artículo 253. Autonomía Municipal. Los municipios de la República de Guatemala, son instituciones autónomas, las cuales entre otras funciones les corresponde:
  - Elegir a sus propias autoridades.
  - Obtener y disponer de sus recursos.
  - Atender los servicios públicos locales, el ordenamiento territorial de su jurisdicción y el cumplimiento de sus fines propios”<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> Constitución de la República de Guatemala. *Leyes y acuerdos sobre el ambiente*. p. 47.

### **1.5.2. Decreto No. 90-97 Código de Salud**

Según el *Código de salud*, todos los habitantes de la República tienen derecho a la prevención, promoción, recuperación y rehabilitación de su salud, sin discriminación alguna.

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, tiene a su cargo la conducción, regulación, vigilancia, coordinación y evaluación de las acciones e instituciones de salud a nivel nacional del *sector salud*; asimismo, tiene la función de formular, organizar y dirigir la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos para la entrega de servicios de salud a la población.

Se entiende por el sector salud al conjunto de organismos e instituciones públicas centralizadas y descentralizadas, autónomas, semiautónomas, municipalidades, instituciones privadas, organizaciones no gubernamentales y comunitarias, cuya competencia u objeto es la administración de acciones de salud. En cuyo caso se compone por el Ministerio de Salud Pública, el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, las municipalidades, las universidades y las entidades privadas.

En la ley se mencionan acciones de promoción y prevención de salud, las cuales son todas aquellas acciones orientadas a fomentar el normal desarrollo físico, mental y social del individuo, la familia, la comunidad y la preservación de ambientes saludables; así mismo, el control y la erradicación de las enfermedades que afectan a la población del país; lo cual en referencia al medio ambiente, es buscar el acceso de la población a servicios de agua potable, adecuada eliminación y disposición de excretas, adecuada disposición de desechos sólidos, higiene de alimentos y disminución de la contaminación ambiental.



Para el control de las enfermedades en el *Código de salud* se menciona que se deben desarrollar acciones que promuevan la participación comunitaria para la protección del medio ambiente y la eliminación de los reservorios, que faciliten la proliferación de vectores que participan en la transmisión de estas enfermedades.

Debido a que el medio ambiente está íntimamente relacionado con la salud de los pobladores, el Ministerio de Salud, en colaboración con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, las municipalidades y las comunidades organizadas, deben promover un ambiente saludable que favorezca el desarrollo pleno de los individuos, familias y comunidades.

En relación a la calidad ambiental el Ministerio de Salud, el MARN y las municipalidades deberán:

- Establecer los límites de exposición y de calidad ambiental permisibles a contaminantes ambientales, sean estos de naturaleza química, física o biológica.
- Establecerán los criterios para la realización de estudios de evaluación de impacto ambiental, orientados a determinar las medidas de prevención y de mitigación necesarias, para reducir riesgos potenciales a la salud derivados de desequilibrios en la calidad ambiental, producto de la realización de obras o procesos de desarrollo industrial, urbanístico, agrícola, pecuario, turístico, forestal y pesquero.
- Establecerán los criterios, las normas y los estándares para la producción, importación, tráfico, distribución, almacenamiento y venta de

sustancias y materiales peligrosos para la salud, el ambiente y el bienestar individual y colectivo.

En concordancia con lo anterior y otras leyes ambientales, fue emitido el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, el cual posee implicaciones para las municipalidades y entes generadores; así mismo, las municipalidades emiten reglamentos regionales sobre contaminación visual y aditiva y planes de ordenamiento territorial y existe el reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental.

Según el *Código de salud* el Estado, a través del Ministerio de Salud, en coordinación con las instituciones del sector, velarán por la protección, conservación, aprovechamiento y uso racional de las fuentes de agua potable. Las municipalidades del país están obligadas, como principales prestatarias del servicio de agua potable, a proteger y conservar las fuentes de agua y apoyar y colaborar con las políticas del sector, para el logro de la cobertura universal dentro de su jurisdicción territorial, en términos de cantidad y calidad del servicio.

Sobre la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales el *Código de salud* menciona:

- Las municipalidades, industrias, comercios, entidades agropecuarias, turísticas y otro tipo de establecimientos públicos y privados, deberán dotar o promover la instalación de sistemas adecuados para la eliminación sanitaria de excretas, el tratamiento de aguas residuales y aguas servidas, así como del mantenimiento de dichos sistemas conforme a la presente ley y los reglamentos respectivos.

- El Ministerio de Salud, de manera conjunta con las instituciones del sector, las municipalidades y la comunidad organizada, promoverá la cobertura universal de la población a servicios para la disposición final de excretas, la conducción y tratamientos de aguas residuales y fomentará acciones de educación sanitaria para su correcto uso.
- El Ministerio de Salud, con otras instituciones del sector dentro de su ámbito de competencia, establecerán las normas sanitarias que regulan la construcción de obras para la eliminación y disposición de excretas y aguas residuales y establecerá de manera conjunta con las municipalidades, la autorización, supervisión y control de dichas obras.
- Queda prohibida la disposición insanitaria de excretas en lugares públicos, terrenos comunales y baldíos, La contravención a esta disposición será sancionada por la autoridad municipal respectiva, de conformidad con el Código Municipal, los reglamentos municipales y el presente código.
- Es responsabilidad de las municipalidades o de los usuarios de las cuencas o subcuencas afectadas, la construcción de obras para el tratamiento de las aguas negras y servidas, para evitar la contaminación de otras fuentes de agua: ríos, lagos, nacimientos de agua. El Ministerio de Salud deberá brindar asistencia técnica en aspectos vinculados a la construcción, funcionamiento y mantenimiento de las mismas.
- Queda prohibido la descarga de contaminantes de origen industrial, agroindustrial y el uso de aguas residuales que no hayan sido tratadas sin previo dictamen favorable del Ministerio de Salud, el MARN y la autorización del Consejo Municipal de la jurisdicción o jurisdicciones municipales afectadas.

- En las poblaciones donde exista alcantarillado sanitario, los propietarios de inmuebles están obligados a conectar sus instalaciones sanitarias al mismo, salvo en los casos de excepción determinados por el reglamento correspondiente. En las poblaciones donde no hubiere alcantarillado sanitario, se permitirá el uso de sistemas privados de disposición de excretas, siempre que se cumpla con las normas establecidas por el Ministerio de Salud, a fin de no comprometer los mantos freáticos, ni contaminar los cuerpos de agua.

Sobre los desechos sólidos el *Código de salud* indica:

- Corresponde a las municipalidades la prestación de los servicios de limpieza o recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos de acuerdo con las leyes específicas y en cumplimiento de las normas sanitarias aplicables. Las municipalidades podrán utilizar lugares para la disposición de desechos sólidos o construcción de los respectivos rellenos sanitarios, previo dictamen del Ministerio de Salud y el MARN.
- Se prohíbe arrojar o acumular desechos sólidos de cualquier tipo en lugares no autorizados, alrededor de zonas habitadas y en lugares que puedan producir daños a la salud a la población, al ornato o al paisaje, utilizar medios inadecuados para su transporte y almacenamiento o proceder a su utilización, tratamiento y disposición final, sin la autorización municipal correspondiente, la que deberá tener en cuenta el cumplimiento de las medidas sanitarias establecidas para evitar la contaminación del ambiente, específicamente de los derivados de la contaminación de los afluentes provenientes de los botaderos de basura legales o clandestinos.

- Los hospitales públicos y privados que por su naturaleza emplean o desechan materiales orgánicos o sustancias tóxicas, radiactivas o capaces de diseminar elementos patógenos, y los desechos que se producen en las actividades normales del establecimiento, sólo podrán almacenar y eliminar esos desechos en los lugares y en la forma que lo estipulen las normas que sean elaboradas por el Ministerio de Salud. Los hospitales quedan obligados a instalar incineradores para el manejo y disposición final de los desechos, cuyas especificaciones y normas quedarán establecidas en el reglamento respectivo.
- Para el almacenamiento, transporte, reciclaje y disposición de residuos y desechos sólidos, así como de residuos industriales peligrosos, las empresas industriales o comerciales deberán contar con sistemas adecuados según la naturaleza de sus operaciones, especialmente cuando la peligrosidad y volumen de los desechos, no permitan la utilización del servicio ordinario para la disposición de los desechos generales. El Ministerio de Salud y la municipalidad correspondiente dictaminarán sobre la base del reglamento específico sobre esta materia.
- Los desechos sólidos provenientes de actividades agrícolas y pecuarias deberán ser recolectados, transportados, depositados y eliminados de acuerdo con las normas y reglamentos que se establezcan, a fin de no crear focos de contaminación ambiental, siempre y cuando no fuera posible su reprocesamiento y/o reciclaje para uso en otras actividades debidamente autorizadas.

### **1.5.3. Decreto 68-86 *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente***

El objeto de la presente ley, según referencia de su artículo 11, es velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional son los responsables de propiciar el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, flora, suelo, subsuelo y agua, deben realizarse racionalmente.

El órgano encargado de la aplicación de la referida ley es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, el cual por medio del Decreto Legislativo 90-2000, fue creado en sustitución de la Comisión Nacional de Medio Ambiente CONAMA, cuya creación fue en 1986, y fue el órgano que tenía como función específica de preparar un proyecto de ley que normará todo lo referente al medio ambiente el cual fue aprobado como el proyecto de *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*, por medio del Decreto Número 68-86 del Congreso de la República.

En la presente ley se encuentra enunciado la necesidad de emitir los reglamentos correspondientes para prevenir la contaminación del sistema atmosférico, velar y normar la contaminación y uso racional del sistema hídrico; emitir los reglamentos relacionados con los procesos capaces de producir deterioro en los sistemas lítico (o de las rocas y minerales), y edáfico (o de los suelos); emitir los reglamentos necesarios para la prevención y el control de la contaminación por ruido, sonido, microondas, vibraciones, ultrasonidos o

acciones que perjudiquen la salud física y mental y el bienestar humano, o que cause trastornos al equilibrio ecológico; emitir los reglamentos correspondientes para la prevención y el control de la contaminación visual, por último, reglamentar las acciones necesarias para la conservación y protección de los sistemas bióticos.

Con lo anterior queda en claro que la legislación guatemalteca posee una fortaleza en cuanto a la obligatoriedad de las autoridades de velar por la conservación y prevención de la contaminación en el medio ambiente; así mismo, se ve en claro la politización de las referidas normas a reglamentar establecidas en la presente ley, debido a que en la actualidad aún quedan vacíos legales para establecer legalmente el criterio de contaminación en los temas de emisiones atmosférica, ruido y contaminación visual, los cuales obedecen a costos políticos por sectores afectados por la implementación de tecnologías, como lo podría ser el respaldo de la iniciativa privada al gobierno en curso.

Tabla III. **Base legal de reglamentos para la protección y mejoramiento del medio ambiente**

Art.	Reglamento	Descripción
Artículo 14	Para la prevención de la contaminación atmosférica y mantener la calidad del aire.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promover el empleo de métodos adecuados para reducción de emisiones.</li> <li>• Promover acciones para proteger la atmosfera.</li> <li>• Regular sustancias contaminantes relacionadas con la atmosfera.</li> <li>• Establecer estaciones o redes de muestreo para detectar y localizar fuentes de contaminación atmosférica.</li> </ul>

Continuación de la tabla III.

<p>Artículo 15</p>	<p>Para el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable,</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento, mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas.</li> <li>• Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental.</li> <li>• Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos.</li> <li>• Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres, de ríos y manantiales.</li> <li>• Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala.</li> <li>• Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.</li> </ul>
<p>Artículo 16</p>	<p>De los sistemas lítico y edáfico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los procesos capaces de producir deterioro en los sistemas lítico (o de las rocas y minerales), y edáfico (o de los suelos), que provengan de actividades industriales, minerales, petroleras, agropecuarias, pesqueras u otras.</li> <li>• La descarga de cualquier tipo de sustancias que puedan alterar la calidad física, química o mineralógica del suelo o del subsuelo que le sean nocivas a la salud o a la vida humana, la flora, la fauna y a los recursos o bienes.</li> <li>• La adecuada protección y explotación de los recursos minerales y combustibles fósiles, y la adopción de normas de evaluación del impacto de estas explotaciones sobre el medio ambiente a efecto de prevenirlas o minimizarlas.</li> <li>• La conservación, salinización, laterización, desertificación y aridificación del paisaje, así como la pérdida de transformación de energía.</li> <li>• El deterioro cualitativo y cuantitativo de los suelos-</li> <li>• Cualquiera otras causas o procesos que puedan provocar deterioro de estos sistemas.</li> </ul>
<p>Artículo 17</p>	<p>De la prevención y control de la contaminación por ruido o audial.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisión de energía en forma de ruido, sonido, microondas, vibraciones, ultrasonido o acción que perjudiquen la salud física y mental y el bienestar humano, o que cause trastornos al equilibrio ecológico.</li> </ul>



Continuación de la tabla III.

Artículo 18	De la prevención y control de la contaminación visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• actividades que puedan causar alteración estética del paisaje y de los recursos naturales, provoquen ruptura del paisaje y otros factores considerados como agresión visual y cualesquiera otras situaciones de contaminación y de interferencia visual, que afecten la salud mental y física y la seguridad de las personas.</li> </ul>
Artículo 19	De la conservación y protección de los sistemas bióticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La protección de las especies o ejemplares animales o vegetales que corran peligro de extinción.</li> <li>• La promoción del desarrollo y uso de métodos de conservación y aprovechamiento de la flora y fauna del país.</li> <li>• El establecimiento de un sistema de áreas de conservación a fin de salvaguardar el patrimonio genético nacional, protegiendo y conservando los fenómenos geomorfológicos especiales, el paisaje, la flora y la fauna.</li> <li>• La importación de especies vegetales y animales que deterioren el equilibrio biológico del país, y la exportación de especies únicas en vías de extinción.</li> <li>• El comercio ilícito de especies consideradas en peligro.</li> <li>• El velar por el cumplimiento de tratados y convenios internacionales relativos a la conservación del patrimonio natural.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

#### 1.5.4. Código municipal

Se reconoce a una municipalidad como la organización encargada de la administración local de un municipio, se encuentra encabezada por un alcalde y un consejo municipal, y es responsable de la administración del desarrollo territorial, la salud y educación de sus habitantes.

“Guatemala se encuentra constituida por 334 municipalidades, las cuales poseen una asignación constitucional del 10 % del presupuesto del Estado, el cual debe ser distribuido de la siguiente forma: el 25 % distribuido proporcionalmente al número de población de cada municipio, el 25 % distribuido en partes iguales a todas las municipalidades, el 25 % distribuido proporcionalmente al ingreso *per cápita* ordinario de cada jurisdicción municipal, el 15 % distribuido directamente proporcional al número de aldeas y caseríos y el 10 % restante distribuido directamente proporcional al inverso del ingreso *per cápita* ordinario de cada jurisdicción municipal”<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Congreso de la República de Guatemala. *Código Municipal*. p. 33.

“Sin embargo, en el año 2014 la distribución de la asignación constitucional se estableció por la comisión encargada de la siguiente forma: 30 % de los recursos atribuidos distribuido proporcionalmente al número de población en cada municipio, 35 % en partes iguales a todas las municipalidades, 25 % por ingresos per cápita de cada jurisdicción, 10 % es proporcional al número de aldeas y caseríos de cada municipio”<sup>18</sup>.

Producto de que las municipalidades son representadas por el alcalde y los integrantes de las juntas municipales, al mismo tiempo que poseen una asignación presupuestaria constitucional, existe el *Código municipal* en donde la *Constitución Política de la República* reconoce y establece el nivel de gobierno municipal, con autoridades electas directa y popularmente, lo cual implica el régimen autónomo de su administración, siempre y cuando se encuentre dentro de sus atribuciones establecidas en dicho código.

El *Código municipal* tiene por objeto desarrollar los principios constitucionales referentes a la organización, gobierno, administración y funcionamiento de los municipios y demás entidades locales, así como de las competencias que corresponden a los mismos.

Por tal motivo, el municipio es la unidad básica de la organización territorial del Estado de Guatemala, y es el espacio inmediato donde sucede la participación ciudadana en los asuntos públicos, se caracteriza primordialmente por sus relaciones permanentes de vecindad, multietnicidad, pluriculturalidad y multilingüismo, organizado para realizar el bien común de todos los habitantes de su distrito.

Adicionalmente, dentro del *Código municipal* se especifica que los municipios pueden asociarse entre ellos instituyéndose como entidades de derecho público, con personalidad jurídica propias, constituidas mediante acuerdos celebrados entre los concejos de dos o más municipios, para la

---

<sup>18</sup> Prensa Libre. <http://goo.gl/Z53LVc>. Consulta: 23 de enero de 2014.

formulación común de políticas públicas municipales, planes, programas y proyectos; así como, la ejecución de obras y la prestación eficiente de servicios municipales.

Tal ejemplo es el caso de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur del área metropolitana, la cual consta de la asociación de las municipalidades de Mixco, San José Pinula, Villa Nueva, Villa Canales, Amatitlán y San Miguel Petapa, cuyo objetivo es abordar problemáticas que son iguales en cada uno de sus municipios y dependen unos de los otros para solucionarlas, como lo son las problemáticas ambientales.

El coordinador de planificación de proyectos de la Mancomunidad Gran Ciudad del Sur, indicó en septiembre de 2015 que uno de los aspectos que es de preocupación de la mancomunidad es el tratamiento de las aguas residuales, detallando que al río Villa Lobos sucede la confluencia de los ríos Pinula, Molino, San Lucas, El Frutal, Guadrón y Platanitos, adicionando 14 microcuencas más, el cual a su vez desemboca en el lago de Amatitlán.

Figura 9. **Contribución de aguas residuales de las municipalidades hacia el lago Amatitlán**



Fuente: *Prensa Libre*. <http://goo.gl/10vqTh>. Consulta: 25 de enero de 2016.

“Estos ríos son alimentados por las poblaciones de los municipios de la Mancomunidad y el municipio de Guatemala, con un aproximado de tres millones de personas las cuales diariamente utilizan 150 litros para consumo humano, los cuales desembocan en el lago una relación de ciento sesenta mil piscinas olímpicas de desechos sólidos diariamente. Los seis municipios de la mancomunidad se han comprometido en invertir en un mínimo de un 5 % de su presupuesto anual municipal en sistemas de tratamiento de aguas residuales, en cumplimiento del reglamento de aguas residuales”<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Mancomunidad Gran Ciudad del Sur. <https://goo.gl/uLzxZi>. Consulta: 14 de enero de 2014.

### **1.5.5. Acuerdo Gubernativo No. 137-2016, Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental**

El reglamento contiene los lineamientos, las estructuras y los procedimientos para el desarrollo sostenible del país en el tema ambiental, por medio del uso de instrumentos que faciliten la evaluación, el control y el seguimiento ambiental de los proyectos, obras, industrias o actividades, que se desarrollan y los que se pretenden desarrollar en el país, los cuales puedan determinar los impactos potenciales en materia ambiental con el fin de la protección del medio ambiente y los recursos naturales.

El ente encargado de la aplicación de dicho reglamento es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) mediante el Sistema de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental (SECSA), compuesto por la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales (DIGARN), la Dirección de Coordinación Nacional (DCN) para descentralizar las actividades propias del MARN en sus delegaciones departamentales y la Dirección de Cumplimiento Legal (DCL). Dichas direcciones deben realizar las actividades correspondientes para dar cumplimiento a dicho reglamento. Dentro de las atribuciones de SECSA podemos mencionar como las más importantes las siguientes:

- Conocer y analizar los instrumentos ambientales que se le presenten.
- Verificar el adecuado cumplimiento de los procedimientos técnicos y administrativos contenidos en el reglamento.
- Desarrollar mecanismos de inscripción, de renovación, de cancelación de inscripción en los registros y de cancelación de licencia de los distintos

consultores ambientales, empresas consultoras ambientales, auditores ambientales, empresas auditoras ambientales o proveedores de servicios ambientales.

- Aprobar o no aprobar los instrumentos ambientales de conformidad con lo señalado en este reglamento; así como emitir las licencias de los diferentes instrumentos ambientales que le corresponda. Realizar inspecciones y verificaciones de campo.
- Emitir las licencias ambientales de disposición final controlada de productos, sustancias y materias primas.
- Emitir las licencias de importación o exportación de productos, sustancias y materias primas.

Los instrumentos de gestión ambiental son los documentos técnicos en los cuales se encuentra contenida la información necesaria para realizar una identificación y evaluación ordenada de los impactos o riesgos ambientales que todo proyecto, obra, industria o actividad, desde la fase de planificación con carácter preventivo, hasta las fases de ejecución, operación y abandono, con carácter correlativo deben presentar los representantes legales y que permite formular las respectivas medidas de mitigación y las bases para su control, fiscalización y seguimiento ambiental.

Para efecto del cumplimiento de las normas de la *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*, en función de su naturaleza, se establecen los instrumentos siguientes:

- Instrumentos ambientales predictivos: son los documentos técnicos en los cuales se encuentra contenida la información necesaria para realizar una identificación y evaluación ordenada de los impactos o riesgos ambientales de un proyecto, obra, industria o actividad, desde la fase de planificación, con carácter preventivo, hasta las fases de ejecución, operación o cierre, y que permiten formular las respectivas medidas de control ambiental y las bases para su control, verificación y seguimiento ambiental. Entre estos se pueden mencionar los siguientes:
- Evaluación ambiental inicial (EAI): se utiliza para determinar los impactos ambientales de un proyecto, obra, industria o actividad. Considerará la localización con respecto a las áreas ambientalmente frágiles y áreas con planificación territorial, así como la existencia o no de un marco jurídico, con el objetivo de que el MARN determine la necesidad de presentar otro instrumento ambiental o emita la resolución que corresponda al caso concreto.
- Estudio de evaluación de impacto ambiental (EIA): permite identificar y predecir, con mayor profundidad de análisis, los efectos sobre el ambiente que ejercerá un proyecto, obra, industria o actividad que por sus características se ha considerado como de moderado y de alto impacto ambiental potencial o riesgo ambiental según el listado taxativo.
- Evaluación ambiental estratégica (EAE): aplica a planes y programas de trascendencia nacional, binacional, regional centroamericano o por acuerdos multilaterales, conforme a lo establecido en este reglamento.

- Formulario de actividades para registro en los listados (FAR): es el instrumento ambiental que se utiliza para llevar el listado de registro y control de aquellas actividades de bajo impacto ambiental potencial.
- Instrumentos ambientales correctivos: son los documentos técnicos en los cuales se encuentra contenida la información necesaria para realizar una identificación y evaluación ordenada de los impactos o riesgos ambientales de un proyecto, obra, industria o actividad, con carácter correctivo y que permiten formular las respectivas medidas de control ambiental y las bases para su control, verificación y seguimiento ambiental. Entre estos se pueden mencionar los siguientes:
- Diagnóstico ambiental (DA): es el instrumento de evaluación ambiental categorizado como A y B1, que se efectúa en un proyecto, obra, industria o actividad existente y por ende, los impactos son determinados mediante sistemas de evaluación basados en muestreos y mediciones directas o bien por el uso de sistemas analógicos de comparación con eventos o entidades similares. Su objetivo es determinar las acciones correctivas necesarias para mitigar impactos adversos.
- Diagnóstico ambiental de bajo impacto (DABI): es el instrumento de evaluación ambiental categorizado como B2 y C, que se efectúa en un proyecto, obra, industria o actividad existente y por ende, los impactos son determinados mediante sistemas de evaluación basados en muestreos y mediciones directas o bien por el uso de sistemas analógicos de comparación con eventos o entidades similares. Su objetivo es determinar las acciones correctivas necesarias para mitigar impactos adversos.



- Formulario de actividades correctivas para registro (FAR): es el instrumento ambiental que se utiliza para llevar el listado de registro y control de aquellas actividades de bajo impacto ambiental potencial.
- Instrumentos ambientales complementarios: son los documentos técnicos en los cuales se encuentra contenida la información necesaria para realizar una identificación y evaluación ordenada de los impactos o riesgos ambientales de un proyecto, obra, industria o actividad. Entre estos se pueden mencionar:
  - Evaluación de riesgo ambiental (ERA): por medio de este instrumento se puede determinar la probabilidad de exceder un valor específico de consecuencias económicas, sociales o ambientales, en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado.
  - Evaluación de impacto social (EIS): permite hacer una estimación de las consecuencias sociales y culturales ante cualquier proyecto, obra, industria o actividad que potencialmente afecte las poblaciones y su calidad de vida.
  - Evaluación de efectos acumulativos (EEA): contiene un análisis y evaluación sistemática de los cambios ambientales combinados, originados por la suma de los efectos de proyectos, obras, industrias o actividades, desarrolladas dentro de un área geográfica definida.
  - Plan de gestión ambiental (PGA): conjunto de operaciones técnicas y acciones propuestas, que tienen como objetivo asegurar la operación de un proyecto, obra, industria o actividad, dentro de las normas legales, técnicas y ambientales para prevenir, corregir o mitigar los impactos o

riesgos ambientales negativos y asegurar a los proponentes, la mejora continua y la compatibilidad con el ambiente.

Para efecto de la clasificación de actividades y orientación sobre los instrumentos de evaluación, control y seguimiento ambiental que deben presentar los proponentes, el reglamento por medio del Acuerdo Gubernativo 61-2015 acordó reformar también el listado taxativo, el cual es el documento que contiene la enumeración y clasificación ordenada de proyectos, obras, industrias o actividades y su categorización de impacto ambiental, tomando como referencia para su elaboración una estandarización basada en la clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIU) y elementos de impacto ambiental potencial o bien riesgo ambiental. En la tabla No. V se ejemplifica el uso del listado taxativo para la identificación de actividades, obras o industrias y su categorización de instrumento ambiental que el proponente debe presentar al SIGAN.

**Tabla IV. Ejemplo de actividades clasificadas en el listado taxativo del Acuerdo Gubernativo No. 199-2016**

Listado taxativo de proyectos, obras, industrias o actividades						
Categorías de proyectos, obras, industrias o actividades			A	B1	B2	C
Núm.	Descripción	Clase	De alto impacto ambiental potencial o riesgo ambiental	De alto a moderado impacto ambiental potencial	De moderado a bajo impacto ambiental potencial	De bajo impacto ambiental potencial
Sección "A"			Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca			
División 01			Agricultura, ganadería, caza y actividades de servicios conexos			

Continuación de la tabla IV.

GRUPO 011			Cultivo de plantas no perennes			
1	Diseño, construcción y operación de empresas que se dedican a la siembra y producción agrícola de cereales (trigo, maíz, sorgo, cebada, centeno, avena, mijo y otros cereales a campo abierto)	0111		Mayor a 500 Ha	De 15 a 500 Ha	
10	Diseño, construcción y operación de empresas que se dedican a la siembra de monocultivos (palma africana, banano y plátano, caña de azúcar, tabaco, algodón, soya, piña y otros conexos), a campo abierto.	0126N	Áreas mayores de 500 Ha. (productores agroindustriales)	Hasta 500 Ha (productores comerciales)	Hasta 35 Ha (pequeños agricultores)	

Fuente: Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo No. 199-2016. *Listado taxativo de proyectos, obras, industrias o actividades*. Consulta: 26 de agosto de 2017.

Los proyectos, obras, industrias o actividades, se clasifican de forma taxativa tomando en cuenta los factores o condiciones que resultan pertinentes en función de sus características, naturaleza, impactos ambientales potenciales o riesgo ambiental; en las siguientes categorías:

Los proyectos, obras, industrias o actividades, se clasifican de forma taxativa en tres diferentes categorías básicas: A, B, y C tomando en cuenta los factores o condiciones que resultan pertinentes en función de sus características, naturaleza, impactos ambientales potenciales o riesgo ambiental.

Los instrumentos ambientales se pueden categorizar en:

- Categoría A. Corresponde a aquellos proyectos, obras, industrias o actividades consideradas como las de más alto impacto ambiental

potencial o riesgo ambiental de entre todo el listado taxativo. Los megaproyectos de desarrollo se consideran como parte de esta categoría.

- Categoría B. Corresponde a aquellos proyectos, obras, industrias o actividades consideradas como las de moderado impacto ambiental potencial o riesgo ambiental de entre todo el listado taxativo y que no corresponden a las categorías A y C. Se divide en dos: la B1, que comprende las que se consideran como de moderado a alto impacto ambiental potencial o riesgo ambiental; y la B2, que comprende las que se consideran como de moderado a bajo impacto ambiental potencial o riesgo ambiental.
- Categoría C. Corresponde a aquellos proyectos, obras, industrias o actividades, consideradas como de bajo impacto y riesgo ambiental, que se desarrollarán de forma permanente o aquellas que se materializarán en un solo acto, esta categoría deberá de ser presentada únicamente para su registro en los listados, de conformidad con el procedimiento que establezca el presente reglamento. Esta categoría no procede para proyectos, obras, industrias o actividades ubicadas en áreas protegidas.

Para los proyectos, obras, industrias o actividades que no aparezcan en el listado taxativo, el MARN determinará a través de la DIGARN la categoría a la cual debe pertenecer, fundamentando su categorización en criterio técnico.

**1.5.6. Acuerdo gubernativo No. 236-2006, Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos**

Entró en vigencia el 12 de mayo de 2006 y su implementación conlleva una serie de responsabilidades y obligaciones por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), debido a que es el ente rector sectorial para la aplicación de tal normativa, y de los entes generadores o encargados de administrar la gestión de las aguas residuales como lo son las industrias y las municipalidades.

Dicho reglamento tiene el objeto de establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales y la disposición de lodos, así como establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento, para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

Este reglamento debe aplicarse a las siguientes personas según el artículo 2:

- Los entes generadores de aguas residuales.

- Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público.
- Las personas que produzcan aguas residuales para reuso.
- Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales.
- Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

#### **1.5.6.1. Estudio técnico de aguas residuales**

En el reglamento se especifica en el artículo 5 que la persona individual o jurídica, pública o privada, que sea responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten estas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tienen la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso y lodos.

Tiene un plazo de un año a partir de entrar en vigencia el reglamento para realizarlo y debe ser actualizado cada 5 años o cuando exista un cambio sustancial en los procesos que afecte la calidad de las aguas residuales. Las consideraciones especiales sobre el contenido de dicho estudio se abordarán en el capítulo 2.

### **1.5.6.2. Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales**

Los límites máximos permisibles de las descarga de aguas residuales poseen varias consideraciones especiales para determinar cuál es el límite apropiado para cada ente generador, iniciando por el hecho de que el reglamento consideró durante su creación que las actividades para el cumplimiento de los artículos contenidos, tendrían un impacto económico sustancial para las empresas, municipalidades y demás entes generadores y que por dicha razón es necesario un tiempo adecuado para la implementación de dichas actividades para los entes que ya existían en el momento de la publicación del reglamento, no así para los entes generadores nuevos, o posteriores a la publicación del reglamento, para quienes las reglas son claras desde el inicio de sus operaciones, las cuales deben ser consideradas como parte de la planificación de un proyecto nuevo.

Otro de los puntos importantes a considerar para determinar el límite máximo permisible de descarga de aguas residuales es el punto de descarga de las mismas, diferenciando entre descargas a cuerpos receptores, esteros y el alcantarillado público.

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, que deben realizarse mediciones para determinar las características de las aguas residuales, las cuales se encuentran contenidas en los límites máximos permisibles, según el artículo 16 del reglamento, son:

- Temperatura.
- Potencial de hidrógeno.
- Grasas y aceites.

- Materia flotante.
- Sólidos suspendidos totales.
- Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días a veinte grados Celsius.
- Demanda química de oxígeno.
- Nitrógeno total.
- Fósforo total.
- Arsénico.
- Cadmio.
- Cianuro total.
- Cobre.
- Cromo hexavalente.
- Mercurio.
- Níquel.
- Plomo.
- Zinc.
- Color.
- Coliformes fecales.

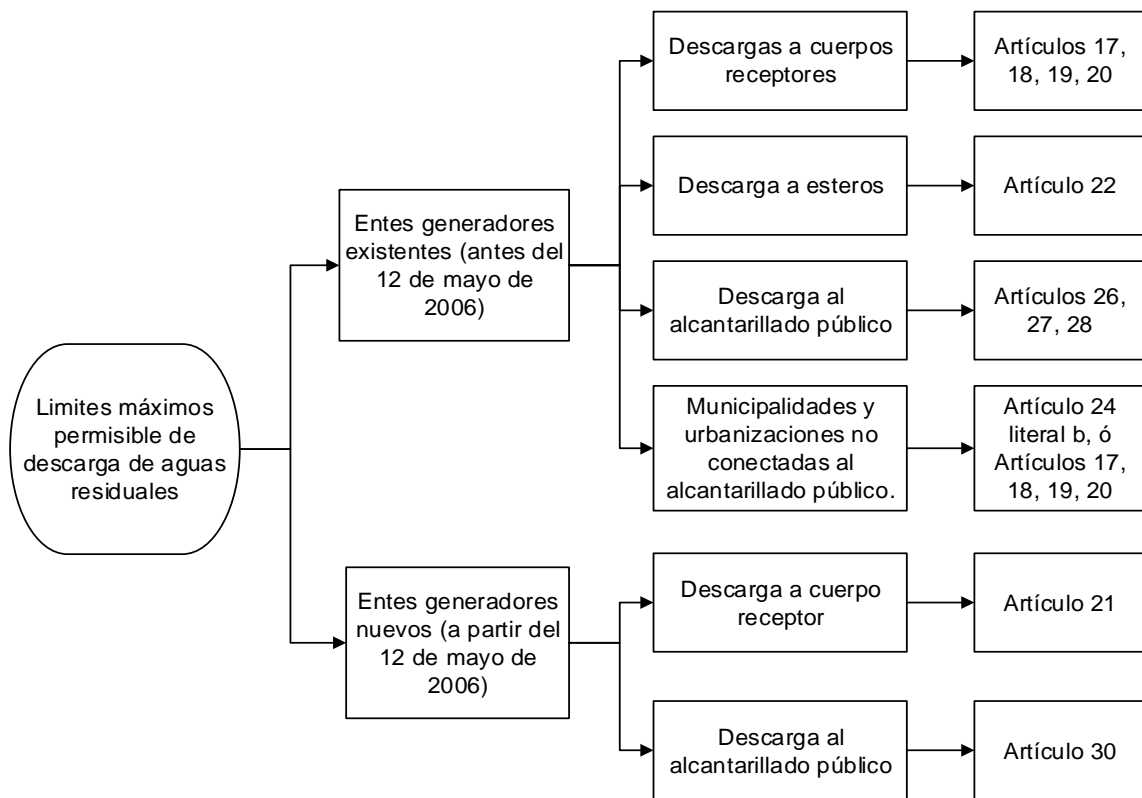
Para efectos ilustrativos, en la figura 10, se presenta el diagrama que detalla la clasificación de límites de descarga de aguas residuales según sean sus descargas a un cuerpo receptor o al alcantarillado público; así mismo, se identifican los entes generadores nuevos y existentes.

Así mismo, existen límites máximos permisibles distintos a los mencionados anteriormente, los cuales se han establecido para cuerpos de agua que son sensibles a la contaminación y por ende son necesarias medidas de mitigación más rigurosas, como lo puede ser en un área protegida cuyo ente encargado de normar, y elaborar los planes maestros de las actividades que



pueden desarrollarse dentro del área es la Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), o bien el caso concreto de la cuenca endorreica del lago de Atitlán, la cual cuenta con un reglamento de descarga de aguas residuales individual normado en el Acuerdo Gubernativo 12-2011, *Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán*.

Figura 10. **Artículos de límites máximos permisibles de la descarga de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia.

### **1.5.6.3. Modelo de reducción progresiva de cargas**

Como se mencionó anteriormente, el reglamento dispone que los entes generadores existentes anteriores a su publicación, los establecidos antes del 12 de mayo de 2006, tienen un plazo prudencial para implementar los sistemas de tratamiento de aguas residuales necesarios para la reducción de las cargas contaminantes que descargan a los cuerpos receptores por cuestiones de apoyo económico para la industrias y demás entes generadores, a quienes la implementación inmediata del reglamento supondría una inversión que afecte su productividad.

Por tal motivo se dispuso por medio de los artículos 17, 18 y 19, para los entes generadores existentes que descargan sus aguas residuales a un cuerpo receptor, y de conformidad en los artículos 26 y 27, para los entes generadores existentes que descargan al alcantarillado público, los modelos de reducción progresivas de cargas de demanda bioquímica de oxígeno.

“La meta de cumplimiento, al finalizar las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas, se establece en tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno”<sup>20</sup>.

### **1.5.6.4. Parámetros de aguas para reuso**

El reglamento también contempla normar la calidad del agua que es destinada para reuso, el cual se entiende como el aprovechamiento del agua

---

<sup>20</sup> Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas de aguas residuales*. [http:// vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG\\_236-2006.pdf](http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG_236-2006.pdf). Consulta: 26 de agosto de 2017.

efluente, teniendo esta un tratamiento o no. Para lo cual la norma autoriza el reuso para los siguientes casos, siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles que correspondan a cada uno, contenidos en la tabla VI.

- “Tipo I: reuso para riego agrícola en general: uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.
- Tipo II: reuso para cultivos comestibles: con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del presente reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.
- Tipo III: reuso para acuicultura: uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura.
- Tipo IV: reuso para pastos y otros cultivos: con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros.
- Tipo V: reuso recreativo: con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no”<sup>21</sup>.

Cualquier otro reuso no contemplado en los mencionados anteriormente deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

---

<sup>21</sup> Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas de aguas residuales*. [http:// vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/ Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG 236-2006.pdf](http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG-236-2006.pdf). Consulta: 26 de agosto de 2017.

Tabla V. **Parámetros y límites máximos permisibles para reuso**

<b>Tipo de reuso</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro</b>	<b>Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros</b>
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo II	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$

Fuente: Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas de aguas residuales*. <http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG-236-2006.pdf>. Consulta: 26 de agosto de 2017.

#### **1.5.6.5. Parámetros para lodos**

Todos los lodos producidos como consecuencia del tratamiento de aguas residuales que representen un riesgo para el ambiente y la salud y seguridad humana deben cumplir los límites máximos permisibles para su disposición final, y en el reglamento se regulan todos los lodos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario y especial.

El reglamento dispone que es permitido el tratamiento de los lodos por medio de la tecnología o los sistemas que el ente generador considere más adecuados a sus condiciones particulares, incluyendo la incineración a temperaturas mayores de mil quinientos grados Celsius. Para lo cual permite la disposición final de lodos por cualesquiera de las siguientes formas, siempre y cuando no excedan los límites máximos permisibles descritos en la tabla VII:

- “Aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost: podrán disponerse como acondicionador del suelo, en cuyo caso se permitirá disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año. En caso de que la aplicación sea como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.

- Disposición en rellenos sanitarios: se permitirá la disposición en un relleno sanitario de los lodos que no sean bioinfecciosos, que no requieran confinamiento.
- Confinamiento o aislamiento: los lodos que en su estructura posean compuestos que requieran confinamiento o aislamiento para evitar el impacto adverso del manto freático, las fuentes de suministro de agua superficiales y subterráneas, el suelo, subsuelo y el aire, deben disponerse en recintos que posean autorización del MARN y el aval de los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y de Energía y Minas<sup>22</sup>.

Tabla VI. **Parámetros y límites máximos permisibles para lodos**

Parámetro	Dimensionales	Disposición final		
		Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	miligramos por kilogramo de materia seca a 104 ° Celcius	50	100	> 100
Cadmio		50	100	> 100
Cromo		1 500	3 000	> 3 000
Mercurio		25	50	> 50
Plomo		500	1 000	> 1 000

Fuente: Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas de aguas residuales*. [http:// vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG 236-2006.pdf](http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG-236-2006.pdf). Consulta: 26 de agosto de 2017.

Lo anterior mencionado corresponde a los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

#### 1.5.6.6. Seguimiento y evaluación

<sup>22</sup> Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas de aguas residuales*. [http:// vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG 236-2006.pdf](http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG-236-2006.pdf). Consulta: 26 de agosto de 2017.

Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

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

Tabla VII. **Frecuencia de toma de muestras**

<b>Peso promedio de lodos producidos</b>	<b>Periodicidad</b>
Entre 0 y 1 500 kilogramos diarios	Trimestral
Entre 1 501 y 3 000 kilogramos diarios	Bimensual
Más de 3 000 kilogramos diarios	Mensual

Fuente: Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas de aguas residuales*. [http:// vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG 236-2006.pdf](http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG-236-2006.pdf). Consulta: 26 de agosto de 2017.

Los entes generadores deberán llevar un registro de los resultados de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización, para su presentación al MARN cuando le sea requerido por razones de seguimiento y evaluación.

El número de muestras simples requeridas para conformar una muestra, se indica en el cuadro siguiente:

Tabla VIII. **Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos por muestreo**

<b>Horas por día que opera la actividad que genera la descarga de aguas residuales</b>	<b>Número mínimo de muestras simples para conformar una muestra compuesta</b>	<b>Intervalo mínimo en horas entre toma de muestras simples</b>
Menor que 8	2	2
De 8 a 12	3	3
Mayor que 12	4	3

Fuente: Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas de aguas residuales*. [http:// vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG 236-2006.pdf](http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG-236-2006.pdf). Consulta: 26 de agosto de 2017.

En la toma de cada muestra simple se hará una medición de caudal, para relacionarla con la concentración y así determinar la carga.

Los entes generadores deben contar, en todos los puntos de descarga, con un dispositivo para facilitar la toma de muestras y la medición de caudales; dichos dispositivos deben estar ubicados en lugares accesibles para la inspección.

#### **1.5.6.7. Prohibiciones y sanciones**

Según el reglamento se prohíben las siguientes acciones por parte de los entes generadores:

- Artículo 55. Prohibición de disposición de aguas residuales. Se prohíbe terminantemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado pluvial.
- Artículo 56. Prohibición de descarga directa. Se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático.

Los anteriores dos artículos suponen el incumplimiento de las normas preceptuadas en el reglamento y adicionalmente evidencian la falta de interés en la prevención de la contaminación por parte del ente generador.

- Artículo 57. Prohibición de diluir. Se prohíbe el uso de cualquier tipo de aguas ajenas al ente generador, con el propósito de diluir las aguas residuales. Ninguna meta contemplada en el presente Reglamento se puede alcanzar diluyendo.

Del anterior artículo se entiende que la dilución es la adición de otra agua diferente al efluente del ente generador con el objetivo de disminuir la concentración de los contaminantes, lo cual no solo es una falta a lo preceptuado al reglamento; también, supone el gasto y contaminación innecesaria de otro recurso.

- Artículo 58. Prohibición de reusos. Se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos:
  - En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre.



- En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas.
- En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y seguridad humana.
- Para el uso con fines recreacionales exceptuando el tipo V, indicado en el artículo 34 del presente reglamento.

Otro punto muy importante del reglamento es la disposición final de los lodos producidos por una planta de tratamiento de aguas residuales, dado que estos son el resultado de la concentración de los contaminantes del efluente, y son la principal fuente de contaminación de los cuerpos receptores aportando materia orgánica, nutrientes, sólidos y son el principal lecho de contacto para la proliferación de todo tipo de microorganismos; por tal motivo, es necesario su tratamiento para el aprovechamiento de los nutrientes en otras metodologías las cuales fueron descritas en el inciso 1.6.5

- Artículo 59. Prohibición de disposición de lodos. Se prohíbe terminantemente efectuar la disposición final de lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Además, se prohíbe la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección respectiva ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

### **1.5.7. Legislación internacional**

En la década de los sesenta, la disciplina ambiental se afianzó en el pensamiento universal; las amas de casa, los líderes religiosos, los integrantes de los movimientos civiles y políticos comenzaron a entender que era necesario concebir un cambio en las relaciones con los elementos de la tierra. Se comenzó a entender que se debe armonizar la conservación con desarrollo. Además de algunas catástrofes ambientales de carácter universal fueron alertando acerca de la necesidad de crear sistemas internacionales que permitieran resolver cuestiones que excedieran los límites de los Estados.

En 1972 en Estocolmo, se llevó a cabo la Conferencia Sobre el Medio Humano, en la cual se reunieron 113 países, dando como resultado las políticas ambientales, un preámbulo, que tiene una base ética y 26 principios. Afirmándose con ello, la defensa y el mejoramiento del medio humano para las generaciones presentes y futuras. Preparó un plan de acción para el medio humano con 109 recomendaciones, designó el 5 de junio como Día Mundial del Medio Ambiente, e instó para que ese día los gobiernos y las organizaciones del Sistema de las Naciones Unidas emprendieran actividades que reafirmen su preocupación para la protección y el mejoramiento del medio ambiente con miras a la concienciación de los pueblos hacia el entorno humano.

#### **1.5.7.1. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible 1992**

“En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, más de 170 representantes estatales reunidos en Rio de Janeiro el 3 de junio de 1992, reafirmaron la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, aprobada en Estocolmo el 16 de junio de 1972, y tratando de basarse en esta, con el objetivo de establecer una alianza mundial nueva y equitativa mediante la creación de nuevos niveles de cooperación entre los Estados, los sectores claves de las sociedades y las personas, procuraron

alcanzar acuerdos internacionales en los que se respeten los intereses de todos y se proteja la integridad del sistema ambiental y de desarrollo mundial y reconociendo la naturaleza integral e interdependiente de la Tierra, proclamaron 27 principios fundamentales<sup>23</sup>.

En estos principios se reconoce la necesidad del desarrollo sostenible de los pueblos del planeta, respetando los derechos a la explotación de los recursos naturales propios de cada Estado, y debe realizarse de forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras.

Los principios fundamentales que animaron el espíritu de la cumbre se basan en la consideración de la biodiversidad como patrimonio común de la humanidad y en el concepto de la responsabilidad compartida para su conservación y uso sostenible. El interés de muchos países, en particular aquellos en vías de desarrollo y con gran riqueza biológica, fue más que evidente, sobre todo cuando algunos efectos ambientales negativos dependen claramente de decisiones que están más allá de las fronteras del propio país.

En dicha conferencia se adoptaron los siguientes documentos:

- La Declaración de Río: conjunto de 27 principios universalmente aplicables para ayudar a guiar la acción internacional basándose en la responsabilidad medio ambiental y económica.
- El Convenio Sobre la Biodiversidad Biológica: acuerdo legalmente vinculante, que hasta la fecha ha sido firmado por 168 países. Representa un paso importantísimo hacia la conservación de la diversidad biológica, del uso sostenible de sus componentes y del reparto

---

<sup>23</sup> Naciones Unidas. *CNUMAD*. <http://goo.gl/KvAm3g>. Consulta: 26 de agosto de 2017.

justo y equitativo de los beneficios derivados del uso de recursos genéticos.

- La Convención Marco sobre el Cambio Climático: acuerdo legalmente vinculante, firmado por 154 gobiernos en la Cumbre en Río, cuyo objetivo principal es la estabilización de las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera a un nivel que prevendría la peligrosa interferencia antropogénica (causada por el hombre) con el sistema climático.
- La Declaración de Principios Forestales: conjunto de 15 principios no vinculantes, que rigen la política nacional e internacional para la protección, la administración y el uso más sostenibles de los recursos forestales mundiales. Estos principios son muy importantes ya que representan el primer y principal consenso internacional sobre un mejor uso y conservación de todo tipo de bosques.

#### **1.5.7.2. Convenio de Estocolmo**

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) es un acuerdo jurídicamente vinculante que regula la gestión y generación de sustancias tóxicas. Fue firmado el 22 de mayo de 2001 en Estocolmo y entró en vigor el 17 de mayo de 2004. A la fecha se encuentran 172 países que han ratificado el acuerdo y Guatemala ha ratificado sus compromisos.

Las principales características que las sustancias químicas deben poseer para ser consideradas COPs son que deben ser sustancias altamente tóxicas para los seres humanos y para el medio ambiente, deben ser bioacumulativos

debido a que su concentración es mayor en los seres vivos que en el medio ambiente debido a la lipofilia que presentan estas sustancias, son persistentes debido a que no presentan degradación, pueden ser transportados por diferentes medios como el aire, el agua o especies migratorias a grandes distancias ocasionando contaminación a terceros y presenta bioacumulación, debido a que la concentración de estas sustancias se encuentra en mayor cantidad en los organismos más altos de la cadena trófica.

Existen contaminantes orgánicos persistentes que son generados intencionalmente, los cuales son producidos para suplir alguna necesidad de las industrias por ejemplo los plaguicidas y los pesticidas los cuales son ideados para controlar la reproducción de algún organismo no deseado, así mismo también se encuentran los bifenilos policlorados, PCB por sus siglas en inglés, los cuales cumplen con ciertos requerimientos como aceites dieléctricos para transformadores eléctricos.

También se encuentran COP cuya producción no es intencional y que también son parte de sustancias encontradas en el medio ambiente; por ejemplo, el grupo de las dioxinas son producidas no intencionalmente como subproductos de procesos industriales, pero también pueden encontrarse en la naturaleza como en las erupciones volcánicas y los incendios forestales.

El convenio inicialmente formuló la primera lista de sustancias que cumplían con las anteriores características y determinó 12 sustancias para las que debían implementarse acciones conjuntas, las cuales son:

Tabla IX. Listado de contaminantes orgánicas persistentes

Producto químico	Actividad	Exención específica
Aldrina N° de CAS: 309-00-2	Producción	Ninguna
	Uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ectoparasitocida local Insectocida</li> </ul>
Clordano N° de CAS: 57-74-9	Producción	La permitida para las partes incluidas en el registro del convenio
	Uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ectoparasitocida local</li> <li>• Insectocida</li> <li>• Termitocida: Termitocida en edificios, presas y carreteras</li> <li>• Aditivo para adhesivos de contrachapado</li> </ul>
Dieldrina N° de CAS: 60-57-1	Producción	• Ninguna
	Uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En actividades agrícolas</li> </ul>
Endrina N° de CAS: 72-20-8	Producción	• Ninguna
	Uso	• Ninguna
Heptacloro N° de CAS: 76-44-8	Producción	• Ninguna
	Uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termitocida</li> <li>• Termitocida en estructuras de casas</li> <li>• Termitocida (subterráneo)</li> <li>• Tratamiento de la madera</li> <li>• cajas de cableado subterráneo</li> </ul>
Hexaclorobenceno N° de CAS: 118-74-1	Producción	• La permitida para las partes incluidas en el registro del convenio
	Uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intermediario</li> <li>• Solvente en plaguicidas</li> <li>• Intermediario en un sistema cerrado limitado a un emplazamiento</li> </ul>
Mirex N° de CAS: 2385-85-5	Producción	• La permitida para las partes incluidas en el registro del convenio
	Uso	• Termitocida
Toxafeno N° de CAS: 8001-35-2	Producción	• Ninguna
	Uso	• Ninguna
Bifenilos Policlorados (BPC)	Producción	• Ninguna
	Uso	• Artículos de acuerdo a las disposiciones del convenio
DDT (1,1,1-tricloro-2,2-bis (4-clorofenil) etano) N° de CAS: 50-29-3	Producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finalidad aceptable: Uso en la lucha contra los vectores de enfermedades de acuerdo con lo establecido por el Convenio</li> <li>• Exención específica: Intermediario en la producción de dicofol</li> <li>• Intermediario</li> </ul>
	Uso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finalidad aceptable: Uso en la lucha contra los vectores de enfermedades con arreglo a lo establecido por el convenio</li> <li>• Exención específica: Producción de dicofol</li> <li>• Intermediario</li> </ul>
Dibenzoparadióxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF)	Producción	• No intencionada
	Uso	• No intencionada
Hexaclorobenceno (HCB) No. CAS: 118-74-1	Producción	• Ninguna
	Uso	• Ninguna

Fuente: Convenio de Estocolmo. *Contaminantes Orgánicos Persistentes*. [http://www.wipo.int/edocs/trtdocs/es/unep-pop/trt\\_unep\\_pop\\_2.pdf](http://www.wipo.int/edocs/trtdocs/es/unep-pop/trt_unep_pop_2.pdf). Consulta: 26 de agosto de 2017.

El objetivo del Convenio de Estocolmo, teniendo presente el criterio de precaución consagrado en el principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes.

El convenio ha catalogado las sustancias según la actividad que se debe implementar para el manejo racional de los COP. Las sustancias catalogadas en el anexo A del convenio supone la eliminación total desde la producción hasta su uso, a menos que se dé una exención específica la cual es aprobada por un comisión de expertos científicos nombrada por el convenio.

A diferencia de las sustancias contenidas en el anexo A del convenio, las cuales fueron declaradas como sustancias tóxicas, las sustancias contenidas en el anexo B son catalogadas de la misma forma pero también poseen la cualidad de tener una finalidad de uso aceptable debido a que su uso puede ser una solución para una determinada enfermedad o plaga que podría ser más dañina que la sustancia en cuestión, tal es el caso del DDT, el cual es utilizado como plaguicida para combatir la malaria.

Por último, el convenio identifica las sustancias en el anexo C como aquellas que son de producción no intencional, las cuales se aplica a los COP cuando se forman y se liberan de forma no intencional y a partir de fuentes antropogénicos.

Derivado de este convenio los países ratificantes han implementado conjuntamente acciones para la eliminación o la disminución de dichas sustancias iniciando por prohibir y/o adoptar medidas jurídicas y administrativas que sean necesarias para eliminar la producción y utilización de los productos químicos enumerados en el anexo A del convenio así mismo para sus

importaciones y exportaciones, asegurando que un producto de esta lista sea importado únicamente con el fin de su eliminación ambiental.

Como una solución viable para el manejo ambientalmente racional de las sustancias contenidas en el anexo C del convenio, se orienta a la industria para la utilización de mejores técnicas disponibles y a las mejores prácticas ambientales para la disminución de generación y liberaciones de sustancias.



## **2. ESTUDIO TÉCNICO DE AGUAS RESIDUALES PARA MUNICIPALIDADES EN ÁREAS URBANAS**

En el capítulo uno se abordó la introducción a la problemática de las aguas residuales y sus consecuencias graves, no solo para el medio ambiente y la biota, sino también para la salud de los seres humanos. Así mismo, se expuso la cantidad de acuerdos, reglamentos y leyes nacionales e internacionales que norman la contaminación del agua en Guatemala.

A continuación, se detallara la población del universo denominado zonas y áreas urbanas en que aplica el presente trabajo de investigación y sus condiciones, así mismo se detallara los planes para la realización e implementación de estudios técnicos de aguas residuales en áreas municipales urbanas.

### **2.1. Clasificación de zonas y áreas urbanas**

Según la CEPAL, en su publicación de la definición de población urbana y rural utilizados en los censos de los países latinoamericanos, menciona los conceptos utilizados para el caso de Guatemala, para la diferenciación de una zona urbana y rural, los cuales se detallan a continuación:

- “Censo de 1950
  - Población urbana: aquella que habita todo lugar poblado cuya población exceda de 2 000 habitantes y todo lugar cuya población fluctúe entre 1 500 y 2 000 habitantes, siempre que exista servicio de agua.

- Población rural: aquella que habita el área que no está comprendida dentro del área urbana.
- Censos de 1964, 1973, 1981 y 1994
  - Población urbana: aquella que reside en los asentamientos del país a los que, en virtud de la ley (Acuerdo Gubernativo del 7 de abril de 1938), se les ha reconocido oficialmente la categoría de ciudad, villa o pueblo.
  - Población rural: aquella que reside en aldeas, caseríos y fincas.
- Censo de 2002
  - Población urbana: aquella que reside en ciudades, villas y pueblos (cabeceras departamentales y municipales), así como en aquellos otros lugares poblados que tienen la categoría de colonia o condominio y que cuentan con más de 2 000 habitantes, siempre que en dichos lugares poblados el 51 % o más de los hogares dispongan de alumbrado con energía eléctrica y servicios de agua por tubería<sup>24</sup>.

Los consejos municipales a través de acuerdos emitidos, son los encargados de dictaminar la clasificación de zonas geográficas como áreas rurales y urbanas, sin embargo no existe un manual o un documento técnico que sirva de guía para dicha clasificación.

Desde el punto de vista anterior y como premisa del presente trabajo de investigación, se aplicarán los planes para la realización de estudios técnicos de aguas residuales en municipalidades, para las poblaciones que se encuentren dentro de las áreas geográficas clasificadas como ciudades, villas y pueblos, (cabeceras departamentales y municipales; así como en aquellos otros lugares poblados que tienen la categoría de colonia o condominio y que cuentan con más de 2 000 habitantes, siempre y cuando en dichos lugares poblados el 100 % de hogares dispongan de alumbrado con energía eléctrica y servicios de abastecimiento de agua por medio de tuberías así como acceso a drenajes sanitarios y alcantarillado público.

---

<sup>24</sup> Cepal. *Proyecciones de población urbana y rural 1970-2025*. p. 248.

## 2.2. ¿Qué es un estudio técnico de aguas residuales?

Un estudio técnico de aguas residuales es un instrumento de evaluación, control y seguimiento dedicado a la gestión integral de las descargas de aguas residuales, a efecto de evaluar los sistemas de tratamiento, caracterizar efluentes, descargas y aguas para reuso y lodos generados.

“Todas las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas, responsables de la generación o administración de las aguas residuales del tipo especial, ordinario o mezcla de ambos, que viertan o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tienen la obligación de realizar un estudio técnico de aguas residuales.

Se exceptúan de la preparación del estudio técnico, toda vivienda unifamiliar y aquellas edificaciones, públicas y privadas, que generen solamente aguas residuales de tipo ordinario y que cuenten con acometida autorizada hacia el alcantarillado público o de entes administradores de servicios de tratamiento de aguas residuales”<sup>25</sup>.

Esta excepción no aplica para las municipalidades ni las empresas que tienen concesionados los servicios de recolección, transporte, manejo o disposición de aguas residuales, ni las plantas de tratamiento de urbanizaciones que no estén conectadas a una acometida municipal, porque de conformidad con lo estipulado en el artículo 5 del *Reglamento de descarga de aguas residuales*, son considerados generadores de aguas residuales.

“El estudio técnico posee una vigencia de cinco (05) años, tiempo transcurrido en el cual los entes generadores deben realizar una actualización de la información contenida en el mismo o bien al realizar una modificación en los procesos productivos si no aparecen estipulados inicialmente en el documento”<sup>26</sup>.

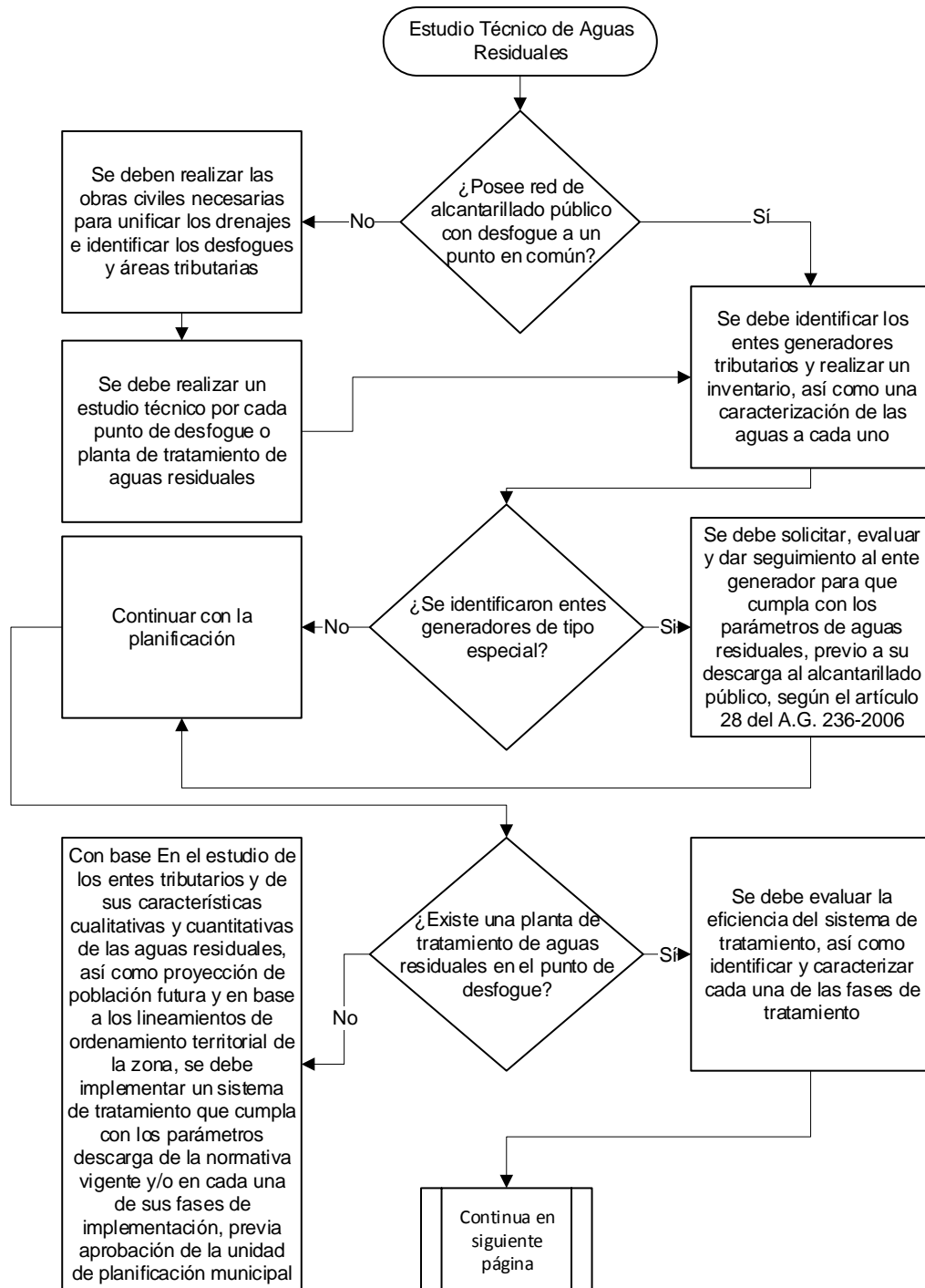
---

<sup>25</sup> Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de aguas residuales*. <http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf>. Consulta: 26 de septiembre de 2017.

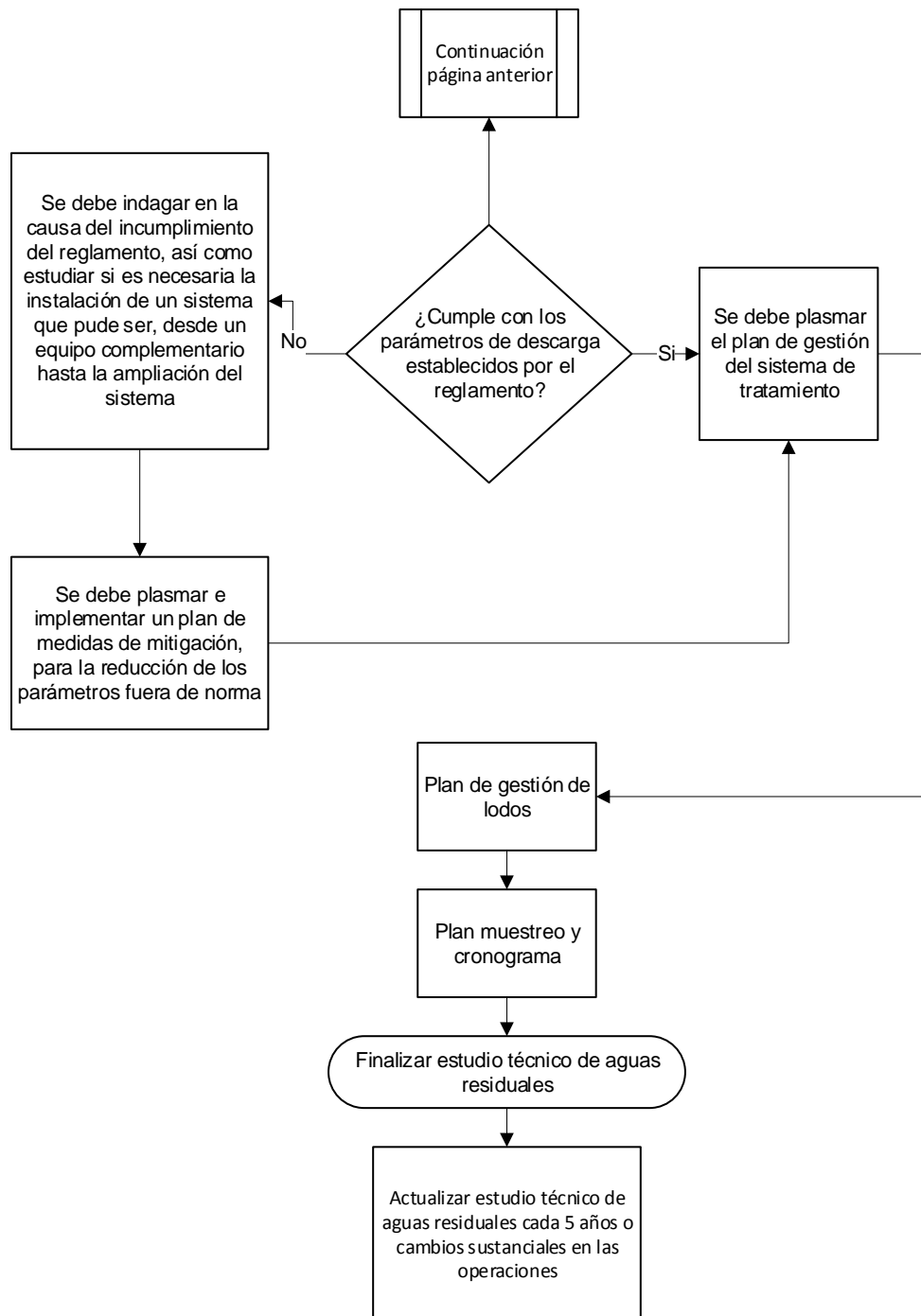
<sup>26</sup> *Ibíd.*

Con ello se pretende dar actualización y validación a los planes de gestión ambiental y planes de mitigación propuestos en el mismo y con ello lograr cumplir las metas de cumplimiento de reducción de cargas progresivas.

Figura 11. Diagrama de flujo para la realización de un estudio técnico de aguas residuales en municipalidades urbanas



Continuación de la figura 11.



Fuente: elaboración propia.

### **2.3. Contenido del estudio técnico**

Debido a que el estudio técnico es un documento legal debe presentar la información específica del ente generador como se describe a continuación:

- Nombre, razón o denominación social del ente generador: para efectos de identificación del responsable de la administración de las aguas residuales generadas por determinada actividad, así puede existir una denominada razón social que produzca aguas residuales en distintos puntos del país bajo su administración.
- Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales: debido a que para la implementación del reglamento el ente generador debe realizar varias actividades y desarrollar planes de gestión y medidas de mitigación, es necesario para los entes generadores del tipo especial u ordinarias a gran escala, una persona que pueda validar cada punto del reglamento en acompañamiento de un delegado del MARN.
- Descripción de la naturaleza de la actividad de la persona individual o jurídica sujeta de la administración de las aguas residuales: Como bien se ha descrito anteriormente existen entes generadores del tipo ordinario y del tipo especial, de estas últimas no existe un manual generalizado de tratamiento de las aguas residuales, y tanto las cargas de contaminación como los tratamientos a implementar dependerán de los procesos en que se utiliza el agua dentro de un proceso y posteriormente son descargadas, por tal motivo es requerido describir la naturaleza de las actividades.

- Horarios en que se realizan las descargas de aguas residuales: este dato es importante para que el personal encargado de realizar una auditoría de aguas residuales del MARN seleccione un plan de muestreo en base a la información de horarios proporcionada por el ente.
- Descripción del tratamiento de aguas residuales: con el objeto de introducir al auditor o interesado, en el sistema de tratamiento de aguas residuales, se debe realizar una descripción de los componentes de los sistemas primarios, secundarios, terciarios si amerita y el tratamiento de los lodos, así como sus capacidades, eficiencias y tecnologías implementadas en cada una de sus fases.
- Caracterización del o los efluentes de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables: esta información es de especial importancia debido a que supone la medula espinal del estudio técnico de aguas residuales, logrando a partir del mismo, la determinación del cumplimiento de los parámetros de descarga del reglamento.
- Caracterización de las aguas para reuso, si aplica: cuando un ente generador reutiliza las aguas residuales para cualquiera de las actividades permitidas en el reglamento según el artículo 34, debe demostrar que cumple con los parámetros solicitados para dicha actividad.
- Caracterización de lodos a disponer: de igual forma que la caracterización del efluente, se debe realizar la caracterización de los lodos madurados.



- Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica: se debe identificar la cuenca donde son descargadas las aguas residuales y con ello identificar qué parámetros de descarga aplican para el ente generador.
- Identificación del alcantarillado hacia el cual se descargan las aguas residuales, si aplica: en el caso de los entes generadores conectados al alcantarillado, se debe identificar el alcantarillado para inferir en la municipalidad que será la encargada de administrar el tratamiento de aguas residuales.
- Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación respectiva: cuando por las características del proceso productivo no se generan algunos de los parámetros establecidos en el reglamento, se puede, bajo justificación detallada en el estudio técnico, se puede eximir la realización de análisis del mismo.

Así mismo, al estudio técnico deben adjuntarse los siguientes documentos:

- “Plano de localización y ubicación, con coordenadas geográficas, del ente generador o de la persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público.
- Plano de ubicación y localización, con coordenadas geográficas, del o los dispositivos de descarga, para la toma de muestras.
- Plan de gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos, en cuyo caso las municipalidades o empresas encargadas de prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales, a personas que descargan sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, incluirán la información del catastro de dichos usuarios y el monitoreo de sus descargas.
- Plan de tratamiento de aguas residuales, si se descargan a un cuerpo receptor o alcantarillado.

- Informes de resultados de las caracterizaciones realizadas periódicamente según la frecuencia solicitada por el reglamento<sup>27</sup>.

## 2.4. Caracterización del efluente

La caracterización del efluente es la actividad más importante para la generación del estudio técnico de aguas residuales, puesto que con base en este análisis, se determinará si el ente generador cumple con los límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales y posteriormente se realizarán los planes de gestión de aguas residuales, y el plan de tratamiento de aguas residuales, incluso puede determinar qué tipo de planta de tratamiento es requerida y adaptable a la necesidad del ente generador para el cumplimiento de los límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales en caso no posea un sistema de tratamiento de aguas residuales, como el caso de las municipalidades.

Por tal motivo, se debe seleccionar una metodología de muestreo que represente la mayor cantidad de información de las características del afluente de la planta de tratamiento y del efluente hacia el cuerpo receptor, metodología que dependerá de las siguientes circunstancias:

- Accesibilidad del lugar
- Necesidad de realizar una obra civil para unificar los caudales
- Orden del flujo en el canal abierto (laminar o turbulento)

En este sentido, el reglamento no menciona la obligatoriedad de la realización de una caracterización de la calidad del agua afluente a la planta de tratamiento, sin embargo si menciona que es necesario describir el sistema de

---

<sup>27</sup> Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo gubernativo 236-2006. *Reglamento de aguas residuales*. <http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf>. Consulta: 14 de marzo de 2017.

tratamiento, así como la realización un plan de tratamiento de aguas residuales, por lo cual es necesario caracterizar el afluente para determinar las eficiencias de la planta y/o sus procesos unitarios.

El reglamento solicita como mínimo un muestreo compuesto por varias muestras simples espaciadas por un intervalo de tiempo el cual es función de las horas por día que opera la actividad que genera las aguas residuales; este cuadro se muestra en el artículo 49 del reglamento. En el caso de las municipalidades siempre será mayor que doce horas diarias de operación, por lo que deben realizarse cuatro muestras simples con un intervalo mínimo de tres horas entre cada muestra para conformar una muestra compuesta.

Debido a que en el caso en que las municipalidades no posean un sistema de tratamiento de aguas residuales, es necesario realizar un levantamiento de información intensivo para determinar la factibilidad de la implementación de una tecnología de tratamiento que posea las características de tratar cargas municipales y sus fluctuaciones. Es necesario realizar un muestreo compuesto intensivo por medio de más muestras simples en menos intervalos de tiempo para poder detectar los aumentos de concentraciones y descargas de rieles de cargas elevadas que ingresen al alcantarillado municipal.

Adicional del muestreo y análisis de muestras, es necesario realizar la medición del caudal del efluente, para determinación de la carga contaminante en relación a la concentración de la contaminación, específicamente de la  $DBO_5$ , con el fin de darle cumplimiento al modelo de reducción de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno del artículo 17 del reglamento. En el capítulo 3 inciso 3.1 literal c), se detalla una metodología de muestreo para aguas residuales municipales.

## 2.5. Parámetros de descarga de aguas residuales municipales a cuerpos receptores

Las municipalidades o empresas concesionarias encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público deben cumplir con los límites máximos permisibles y plazos para descargar a cuerpos receptores, de acuerdo con la reforma del reglamento en el Acuerdo Gubernativo No. 129-2015, según la siguiente tabla, contenida en el artículo 24, reformado por el decreto 129-2015:

Tabla X. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil diecinueve	Dos de mayo de dos mil veintitrés	Dos de mayo de dos mil veintisiete	Dos de mayo de dos mil treinta y uno
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	mg/L	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia / presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	mg/L	300	275	200	100	100
Nitrógeno total	mg/L	150	150	70	20	20
Fósforo total	mg/L	50	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	mg/L	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	mg/L	1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cadmio	mg/L	1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cianuro total	mg/L	6	1	1	1	1
Cobre	mg/L	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/L	1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mercurio	mg/L	0,1	0,02	0,02	0,02	0,01
Níquel	mg/L	6	2	2	2	2
Plomo	mg/L	4	0,4	0,4	0,4	0,4

Continuación de la tabla X.

Zinc	mg/L	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1 500	1 000	1 000	750	500

Fuente: elaboración propia.

## 2.6. Parámetros y metodologías de la disposición final de lodos

De igual manera, las municipalidades o empresas concesionarias encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público tienen permitido efectuar la disposición final de los lodos generados por las actividades de tratamiento de las aguas residuales por cualquiera de las formas enunciadas a continuación y deben cumplir con los límites máximos permisibles de los valores de las propiedades fisicoquímicas de los lodos antes de realizar su disposición final, según la tabla VII del capítulo 1, inciso 1.6.5.

Algunas municipalidades poseen viveros, los cuales utilizan como fuentes de plantas ornamentales para posteriormente sembrar en zonas urbanas, y utilizan como abono los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, previamente desecados y digeridos en las áreas designadas para dicho tratamiento. Otras en cambio destinan los lodos hacia rellenos sanitarios controlados para su disposición final.

## 2.7. Seguimiento y evaluación

Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, las municipalidades deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

Para el seguimiento y la evaluación de lodos, las municipalidades deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico. En el caso de subcontratar una empresa para la extracción y disposición final de lodos, esta deberá cumplir con lo establecido en el reglamento en lo relacionado a entidades prestadoras de servicio de extracción, manejo y disposición final de lodos según el artículo 49 del reglamento.

Las municipalidades deberán llevar un registro de los resultados de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización, para su presentación al MARN cuando le sea requerido por razones de seguimiento y evaluación.

Para efectos de la composición de las muestras compuestas del muestreo, las municipalidades procederán como corresponde según explicamos en el capítulo 1 inciso 1.6.6 y tabla IX.

Así mismo, las municipalidades deberán contar, en todos los puntos de descarga, con un dispositivo para facilitar la toma de muestras y la medición de caudales, dichos dispositivos deben estar ubicados en lugares accesibles para la inspección.

## **2.8. Criterios técnicos para el establecimiento de tarifas de servicio de tratamiento de aguas residuales**

De acuerdo con lo establecido en el artículo 3 del *Código municipal*, y para efectos del reglamento de aguas residuales, las municipalidades deberán coordinar con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la determinación de los criterios técnicos que servirán de base para establecer las tarifas del

servicio de tratamiento de aguas residuales, para lo cual se debe tomar en cuenta como mínimo lo siguiente:

- Los costos de operación, mantenimiento, mejoramiento de calidad y cobertura de servicios.
- Los límites máximos permisibles establecidos en este reglamento.
- Los estudios técnicos cuyos valores y caracterización sean conocidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el que deba realizar la Municipalidad jurisdiccional.
- La tarifa será diferenciada atendiendo a las características de cada descarga.

“Las municipalidades establecerán las tarifas o tasas respectivas de conformidad con el propio *Código municipal*<sup>28</sup>.”

## **2.9. Plan de gestión de aguas residuales**

Debido que al inicio de la realización del estudio técnico de aguas residuales, los sistemas de tratamiento no cumplen con los parámetros de descarga de aguas residuales y probablemente se reconozca las necesidades de ampliación de sistemas de tratamiento, o bien complementos de tratamiento, es necesario desarrollar un plan de gestión de aguas residuales.

---

<sup>28</sup> Congreso de la República de Guatemala, Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de aguas residuales*. <http://vestex.com.gt/wp-content/uploads/2015/04/Reglamento-descargas-de-aguas-residuales-AG236-2006.pdf>. Consulta: 26 de septiembre de 2017.

“El plan de gestión de aguas residuales es el conjunto de propuestas organizadas de acuerdo a objetivos general y específicos y acciones. Estas últimas se elaboran en forma de programas y proyectos priorizados en una secuencia temporal lógica, señalando los indicadores de avance o logros, según plazos estimados. También, se presentan las condiciones en el entorno institucional y social que deben darse en el municipio, para asegurar el éxito del Plan”<sup>29</sup>.

De manera detallada, establece las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los posibles efectos o impactos ambientales negativos causados por las aguas residuales del municipio; incluye también los planes de seguimiento, evaluación y monitoreo y los de contingencia.

## **2.10. Plan de tratamiento de aguas residuales**

El plan de tratamiento de aguas residuales es aquel documento donde se plasman las actividades que se deben realizar y su frecuencia para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales. En esta se deben detallar los materiales, insumos, capital humano, descripción de tareas asignadas para el óptimo funcionamiento de la planta.

## **2.11. Las municipalidades y la gestión del agua residual**

En relación al tema tratado en el presente trabajo de investigación, como lo es el saneamiento ambiental, las municipalidades tienen una gran parte de corresponsabilidad para el cuidado y mejoramiento del medio ambiente; a continuación, se enumerarán algunos artículos del *Código municipal* que hacen énfasis en la problemática de la contaminación ambiental y especialmente de las aguas residuales.

---

<sup>29</sup> TAVERAS, María Antonieta. *Guía para la gestión ambiental municipal*. p. 22.



- Las municipalidades tienen competencias propias para desarrollar en sus municipios, entre ellas podemos mencionar según el artículo 68 del *Código municipal* las siguientes:
  - Abastecimiento domiciliario de agua potable debidamente clorada; alcantarillado, recolección, tratamiento y disposición de desechos sólidos, limpieza y ornato, entre otros.
  - Autorización de licencias de construcción de obras, públicas o privadas, en el municipio.
  - La autorización de megáfonos o equipos de sonido a exposición al público en la circunscripción del municipio.
  - Promoción y gestión ambiental de los recursos naturales del municipio.
  
- Las municipalidades pueden ejecutar sus proyectos con el apoyo de las unidades técnicas municipales y la oficina municipal de planificación en donde pueden dar inicio a plantear soluciones integrales para la resolución de problemas como la contaminación ambiental.
  - Artículo 96, Código Municipal. Funciones de la Dirección Municipal de Planificación. La Dirección Municipal de Planificación tendrá las siguientes funciones:
    - Cumplir y ejecutar las decisiones del Concejo Municipal en lo correspondiente a su responsabilidad y atribuciones específicas.

- Elaborar los perfiles, estudios de pre inversión y factibilidad de los proyectos para el desarrollo del municipio, a partir de las necesidades sentidas y priorizadas.
  - Mantener actualizadas las estadísticas socioeconómicas del municipio, incluyendo la información geográfica de ordenamiento territorial y de recursos naturales.
  - Asesorar al Concejo Municipal y al Alcalde en sus relaciones con las entidades de desarrollo públicas y privadas.
  - Mantener actualizado el catastro municipal.
- Otra de las problemáticas que atañe a las municipalidades es el ordenamiento territorial, debido a que el desarrollo de las poblaciones, sus actividades económicas, el comercio y la vivienda convergen en una unidad de espacio territorial, y es necesario establecer políticas para la adecuada convivencia de los habitantes, el cuidado del medio ambiente y el desarrollo económico.
    - Artículo 142, Código Municipal. Formulación y ejecución de planes. Las Municipalidades están obligadas a formular y ejecutar planes de ordenamiento territorial y de desarrollo integral de sus municipios, y por consiguiente, les corresponde la función de proyectar, realizar y reglamentar la planeación, proyección, ejecución y control urbanísticos, así como la preservación y mejoramiento del entorno y el ornato.

- Artículo 147, Código Municipal. Licencia o autorización municipal de urbanización. La Municipalidad está obligada a formular y efectuar planes de ordenamiento territorial, de desarrollo integral y planificación urbana de sus municipios. Las lotificaciones, parcelamientos, urbanizaciones y cualquier otra forma de desarrollo urbano o rural que pretenda realizar o realicen el Estado o sus entidades o instituciones autónomas y descentralizadas, así como personas individuales o jurídicas, deberán contar asimismo con licencia municipal.

Tales formas de desarrollo deben cumplir con los requerimientos establecidos por la municipalidad y, en todo caso, cumplir como mínimo con los servicios públicos siguientes:

- Vías, avenidas, calles, camellones y aceras de las dimensiones, seguridades y calidades adecuadas, según su naturaleza.
- Agua potable y sus correspondientes instalaciones, equipos y red de distribución.
- Energía eléctrica, alumbrado público y domiciliar.
- Alcantarillado y drenajes generales y conexiones domiciliarias.
- Áreas recreativas y deportivas, escuelas, mercados, terminales de transporte y de pasajeros, y centros de salud, cuando aplique.

Como parte del diseño investigativo se realizó una evaluación del desempeño municipal con el objetivo de identificar el grado de avance del cumplimiento del reglamento de aguas residuales del Acuerdo Gubernativo 236-2006; específicamente, en la fase inicial de la elaboración del estudio técnico de aguas residuales, normado en el artículo 5, identificar la complejidad que presentan las municipalidades para el cumplimiento del reglamento en su totalidad e identificar las fortalezas y carencias con las que abordan la problemática ambiental de las aguas residuales.

A continuación, se detalla un resumen de las visitas realizadas a las diferentes municipalidades tomadas en consideración para estudio, utilizando de muestra las municipalidades que poseen problemas conjuntos al respecto del tratamiento de aguas residuales y sus acciones son dependientes una de la otra, así se identificaron las municipalidades que aportan las aguas residuales al lago de Amatitlán, entre estas:

- Municipalidad de Guatemala
- Municipalidad de Santa Catarina Pinula
- Municipalidad de Villa Nueva
- Municipalidad de Villa Canales
- Municipalidad de Fraijanes

La metodología de investigación se basó en entrevistas realizadas al personal de las direcciones de agua y saneamiento, direcciones de gestión ambiental y solicitud de información pública por medio escrito.

Para dicha investigación se procedió a solicitar entrevista personal con los jefes de planificación urbana o jefes de unidades encargadas de la administración de los servicios públicos de alcantarillado y plantas de

tratamiento de aguas residuales. La información que se requirió investigar a las municipalidades relacionadas con el cumplimiento del reglamento de aguas residuales se detalla a continuación:

- Estudio técnico de plantas de tratamiento de aguas residuales realizado por la municipalidad en concordancia con el reglamento de aguas residuales.
- Cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales administradas por la municipalidad.
- Descripción de capacidades, tecnología, estatus de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Población servida y porcentaje de agua residual generada en el municipio que ingresa a las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Descripción de planificación a futuro de tratamiento de aguas residuales.

A continuación, se detallan los alcances de las investigaciones en cada municipalidad.

#### **2.11.1. Municipalidad de Guatemala**

Según referencia, en la Unidad de Planificación en entrevista con el Ing. Marlon Portillo, Jefe de Planificación, realizada en mayo de 2016, relata que en 1972 se creó la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (Empagua), con la función de manejar el sistema de agua potable de la ciudad de Guatemala.

En 1982 se agregaron a las funciones de Empagua, el manejo de los sistemas de alcantarillado; en 2002 se creó la Unidad de Control, Monitoreo de las Aguas Negras (UCMAN), dependencia de la Dirección de Obras.

La UCMAN tiene entre sus principales objetivos, la operación y el mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales actualmente posee 5 plantas de tratamiento:

- Bello Horizonte, zona 12.
- Nimajuyú, zona 21.
- Tres plantas de tratamiento localizadas en la colonia Hacienda Real, zona 17.

Sin embargo, actualmente, no tienen referencia sobre la planificación de la creación del estudio técnico de aguas residuales del municipio de Guatemala, esto promovido principalmente por un sentimiento interno sobre incerteza de buenos resultados en la aplicación del reglamento, según referencia de entrevista realizada en la municipalidad de Guatemala en la Unidad de Planificación con el asesor Ing. Carlos Cobos, durante el mes de mayo de 2016, refiere que el costo de la implementación de sistemas separativos de alcantarillado público de aguas pluviales y aguas residuales, rebasa la capacidades económicas del país y la municipalidad.

Figura 12. **Entrevista Unidad de Planificación de Empagua**



Fuente: elaboración propia.

### **2.11.2. Municipalidad de Santa Catarina Pinula**

Según entrevista realizada en mayo de 2016 en la Unidad de servicios Municipales, el Ing. Rodrigo Castilla, encargado del departamento de Agua y Saneamiento, indicó que en 2011, la municipalidad de Santa Catarina Pinula, realizó el estudio técnico de aguas residuales, para lo cual se realizaron muestreos en 9 plantas de tratamiento de aguas residuales y 6 puntos de descarga no controlados.

Indicó que el municipio cuenta con un área superficial aproximada de 50 km<sup>2</sup>, y un aproximado de 100 000 habitantes según el censo poblacional realizado en 2002. Refiere que las aguas residuales del municipio son generadas un 50 % por entidades privadas, las cuales ascienden

aproximadamente en 200 unidades de generación, las cuales deben de tener sistemas de tratamiento privadas previas a descargar las aguas al alcantarillado público y cuerpos receptores. La municipalidad se ha dado la tarea de hacer un recordatorio por medio de notificación a cada inmueble sobre la reglamentación de contar con estudio técnico de aguas residuales y análisis de resultados de las descargas.

El otro 50 % de las aguas residuales generadas en el municipio proceden de la municipalidad por medio de sus alcantarillados públicos, para lo cual cuenta con 14 plantas de tratamiento de aguas residuales en su totalidad, de las cuales 6 se encuentran funcionando iniciando su período de vida útil y su capacidad de tratamiento se encuentra por debajo de su máxima capacidad. Las restantes plantas son un combinado de sistemas de tratamiento que hace años se implementaron con tecnologías de aireación extendida y recirculación de lodos; pero por motivos de costos elevados de operación incluyendo energéticos y la necesidad de un operario las 24 horas, no pudieron ser operadas óptimamente y actualmente se encuentran en reacondicionamiento para tecnologías sin uso de energía y costos reducidos.

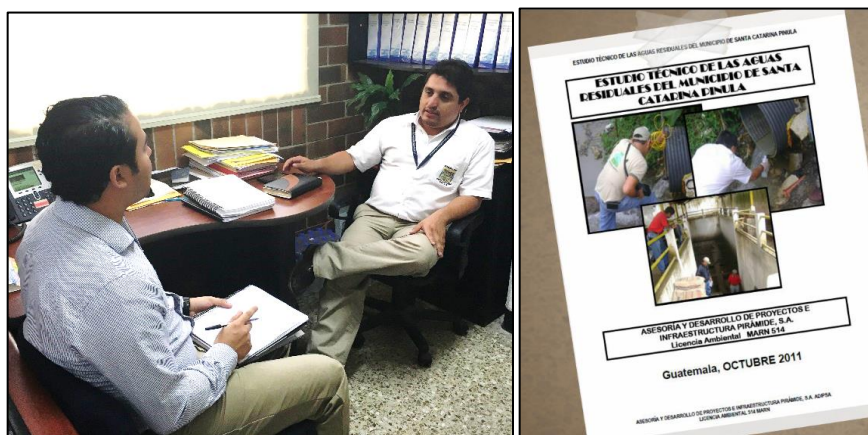
Así mismo, la municipalidad no ha dejado olvidado el tratamiento de áreas que por la topografía del lugar, no pueden ser conectadas a los sistemas de alcantarillado público o bien invertir en una red que unifique los caudales, sino más bien ha creado un sistema de inversión de sistemas de tratamiento unitarias como fosas sépticas descargando a pozos de absorción.

Actualmente la municipalidad tiene destinado dentro de su plan operativo anual (POA), un 5 % del presupuesto municipal hacia obras de saneamiento incluyendo colectores, sistemas sanitarios y plantas de tratamiento de aguas



residuales, sin contar el porcentaje que se asigna en obras de alcantarillado en proyectos nuevos como desarrollos municipales.

Figura 13. **Entrevista, Departamento de Agua y Saneamiento, Municipalidad de Santa Catarina Pínula**



Fuente: elaboración propia.

Otras actividades de gestión que realiza la municipalidad es la atención de denuncias de contaminación para lo cual se efectúan actividades de monitoreo y solicitud de estudio técnico de aguas residuales del ente generador denunciado y la autorización de licencias de construcción en relación al cumplimiento del tratamiento de aguas residuales del reglamento de aguas residuales.

La perspectiva del municipio de su visión a largo plazo para el tratamiento de aguas residuales, se centraliza en el cumplimiento de los parámetros de aguas residuales de las últimas etapas del reglamento, por medio de implementación de sistemas de tratamiento que evite el uso de energía y que sean de fácil operación utilizando un operario rotativo entre las plantas.

Actualmente tienen pendiente la aprobación por parte del Consejo municipal, la publicación de la actualización del Estudio técnico de aguas residuales del municipio para el año 2016, cumpliendo con el criterio de actualización del estudio técnico cada 5 años según el reglamento.

### **2.11.3. Municipalidad de Villa Nueva**

Durante una entrevista realizada en la Dirección de Agua y Saneamiento de la Municipalidad de Villa Nueva, ubicada en la 7ma avenida 7-53 final zona 5 colonia los Planes de Villa Nueva, se obtuvo referencia por parte del Sr. Elder Moran, que la municipalidad ya tiene avances en el cumplimiento de la realización de estudio técnico de aguas residuales del municipio de Villa Nueva, sin embargo esta información se encuentra restringida al uso público debido al mal uso que pueda tener esta información en el ámbito periodístico.

Sin embargo, el Sr. Elder Morán, refirió con el Sr. Esvin Ramírez, quien es el supervisor de la operación de las plantas de tratamiento del municipio y también tuvo participación en la generación del estudio técnico de aguas residuales.

El Sr. Ramírez refiere que la municipalidad cuenta 8 plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales detalla que sus estructuras ya se encuentran subdimensionadas para los caudales generados en la actualidad; así mismo, ya poseen un avanzado grado de deterioro en sus estructuras, por tal motivo sus eficiencias se ven disminuidas en los resultados de análisis. Los lodos maduros que son generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son reutilizados para los viveros municipales.

Sin embargo todas las plantas de tratamiento se encuentran operando y poseen planes de reestructuración para mejorar sus eficiencias y normalizar los parámetros fuera de norma. Actualmente, poseen personal capacitado y orientado a la operación de plantas de tratamiento. Otras dificultades que afrontan son los drenajes combinados que en época lluviosa pueden azolvar la planta de tratamiento.

Actualmente, la municipalidad realiza la tarea de notificar con cédula a los entes generadores privados, solicitándoles el cumplimiento del reglamento de aguas residuales por medio de la generación del estudio técnico de aguas residuales y realización de estudio de análisis de laboratorio de sus descargas, de igual forma la municipalidad para dar aprobación de un proyecto nuevo, solicita que cumpla con las solicitudes del *Reglamento de aguas residuales*.

Figura 14. **Entrevista, municipalidad de Villa Nueva**



Fuente: elaboración propia.

#### 2.11.4. Municipalidad de Villa Canales

Según fuese proporcionada la información por medio de la Unidad de Acceso a la Información Pública, la municipalidad de Villa Canales ha delegado por medio de asesores y nombramiento municipal al señor Mynor Alvarez, quien es la persona encargada de dar seguimiento a los lineamientos del reglamento de Gestión Ambiental Municipal.

Tabla XI. **Plantas de tratamiento del municipio de Villa Canales**

Nombre de la planta	Altitud MSNM	Cuerpo receptor	Observaciones
Boca del Monte, Finca San Agustín	1281	Río las Minas	Cuenta con planta de tratamiento de diseño de lagunaje y biofiltros con un caudal aproximado de 61 L/s, sin embargo se encuentra inoperante debido a que la tubería de ingreso sufrió daños por crecidas en el río.
Cabecera Municipal	1209	Río Villalobos	Esta planta trata el 100 % de las aguas de la cabecera del municipio, sin embargo se encuentra bajo la administración de AMSA.
Santa Elena Barillas	1658	Zanjón Santa Elena	Consiste en un tratamiento biológico por gravedad, se desconocen sus dimensiones y tratamientos unitarios, en estado de abandono, es requerido el apoyo del Infom para obtener los planos y rehabilitar con fondos municipales.

Fuente: Municipalidad de Fraijanes. *Estudio técnico de aguas residuales municipio de Villa Canales*. <https://prezi.com/cb2ahcboiixm/estudio-tecnico-de-caracterizacion-de-aguas-residuales/>. Consulta: 20 de octubre de 2017.

Por medio de esta unidad en el año 2015 se realizó la publicación del documento estudio técnico de aguas residuales del municipio de Villa Canales, el cual contiene la información detallada de la gestión del agua residual del municipio.

Adicional en el documento se relata que actualmente el municipio cuenta con 3 plantas de tratamiento de aguas residuales y 17 puntos de descargas no controlados.

El departamento cuenta con tres plantas de tratamiento abastecidas por tres sistemas de alcantarillado de centros poblados, las cuales cuentan con dos plantas del tipo biológico a gravedad y una con sistema de lodos activados convencionales, brindándole tratamiento primario y secundario de tipo biológico. Posteriormente son descargadas a cuerpos receptores según las características topográficas de cada uno de los lugares poblados.

Actualmente, el documento cuenta con los respectivos proyectos de rehabilitación de las plantas de tratamiento de San Agustín Las Minas, en Boca del Monte y de la planta de la aldea Santa Elena Barillas en Villa Canales; el documento detalla los presupuestos de dichos trabajos y los sistemas de tratamiento necesario para operar los sistemas.

#### **2.11.5. Municipalidad de Fraijanes**

Según refiere el Ing. Victor Oliva, Jefe del Departamento de Medio Ambiente, el municipio de Fraijanes cuenta con el estudio técnico de aguas residuales, realizado en el año 2014; un documento de evaluación de las condiciones actuales de los sistemas de tratamiento y puntos de descarga de los drenajes unificados, paralelo a los trabajos realizados de la Municipalidad en la rehabilitación y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales, por lo que el documento consiste en la generación de un estudio técnico para cada planta de tratamiento y/o punto de confluencia de los drenajes y descarga a cuerpos receptores, y posteriormente se realizó un documento general unificado de las condiciones del Fraijanes, en general.

“El municipio tiene identificados 28 puntos de descarga de aguas residuales, de los cuales 9 de ellos cuenta con una planta de tratamiento, y 6 de estas plantas se encuentran funcionando óptimamente; los otros tres puntos no se encuentran operando por causas de falta de mantenimiento y soterramiento por deslaves.

El total de estos puntos genera un total de 4,148 m<sup>3</sup> de agua residual al día y únicamente se da tratamiento a 1,412.28 m<sup>3</sup>, para un porcentaje del 34% de aguas residuales generadas en el municipio son tratadas previo su descarga a un cuerpo receptor<sup>30</sup>.

Dicha municipalidad también se ha dado la tarea de notificar a cada ente generador privado, como residenciales e industrias, por medio de carta escrito el requerimiento de presentar el informe de resultados de laboratorio, de las descargas de aguas residuales, según lo indicado en el artículo 13, 15 y 49 del Reglamento de Aguas Residuales.

- Resumen

Producto de la investigación de los alcances municipales en la realización del estudio técnico de aguas residuales, se puede constatar que todas las municipalidades tienen conocimiento de la importancia de la generación de dicho estudio y los aspectos legales que conlleva. La mayoría de las municipalidades ya han generado la primera versión del estudio técnico de aguas residuales y se encuentran en constante actualización.

Únicamente, la municipalidad de Guatemala no posee un grado de avance en la generación de dicho documento, en parte, debido a que no poseen una visión a futuro para el cumplimiento en su totalidad del reglamento, abrumados por los costos de implementación de una red de alcantarillado unificada y los costos de operación de las plantas de tratamiento.

---

<sup>30</sup> Municipalidad de Fraijanes. *Estudio técnico de aguas residuales*. p. 17.

Tabla XII. **Datos de estudios técnicos de aguas residuales de municipalidades en estudio**

	<b>Municipalidad de Guatemala</b>	<b>Municipalidad de Santa Catarina Pinula</b>	<b>Municipalidad de Fraijanes</b>	<b>Municipalidad de Villa Canales</b>	<b>Municipalidad de Villa Nueva</b>
¿Posee estudio técnico de aguas residuales?	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Fecha de actualización de E.T.	N/A	2015	2015	2015	2016, no publicado
Plantas de tratamiento de aguas residuales administradas.	5	10	9	3	8
Puntos de descarga de aguas residuales sin PTAR o control en ríos.	N/A	6 puntos de control en ríos	19 puntos de construcción de PTAR	N/A	N/A

Fuente: elaboración propia.





### **3. GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS TÉCNICOS EN MUNICIPALIDADES URBANAS**

Según el resultado de investigación de la realización de estudios técnicos en municipalidades urbanas de los casos de estudio de ejemplo de las municipalidades del departamento de Guatemala y, que afectan directa o indirectamente el cuerpo receptor del lago de Amatitlán; se encuentran que únicamente la municipalidad del municipio de Guatemala, no cuenta con un estudio técnico de aguas residuales, como documento básico de planificación para la gestión integral de aguas residuales; también, como cumplimiento de la normativa nacional, mencionada en los capítulos anteriores.

Sin embargo, es de especial mención la cantidad de esfuerzos que las demás municipalidades se encuentran realizando a la fecha, y que de la mano de políticas y acciones concretas se encuentran desarrollando una visión de planificación integrada de la gestión de los recursos hídricos por medio del tratamiento de aguas residuales.

La gestión ambiental de las aguas residuales municipales puede desarrollarse de manera concisa y objetiva por medio del conocimiento integral del recurso hídrico de cada municipio, utilizando el instrumento de evaluación ambiental del estudio técnico de aguas residuales, es posible identificar las características propias del municipio en la generación y tratamiento de las aguas residuales. Posteriormente, pueden concretarse políticas de ordenamiento territorial, desarrollo e inversión pública para gestionar el tratamiento de aguas residuales.

A continuación, en el desarrollo del presente capítulo, se proporcionará de manera amplia la formulación de un plan para la elaboración de estudios técnicos de aguas residuales en municipalidades urbanas; las cuales, si bien pueden variar por las características de población, cantidad de aguas residuales generadas, sistemas de alcantarillado, características morfológicas del territorio de cada municipio, así como de la índole de las actividades industriales y cultura de sus habitantes el objetivo del estudio técnico de agua residuales es afín para todos los municipio y su objetivo es tangible para todas las municipalidades urbanas, es decir, los productos son alcanzables para todas y cada una de las municipalidades sin importar las características antes mencionadas.

Así mismo, se debe realizar la especial mención que la formulación del presente plan, se realiza de acuerdo a lo preceptuado en los artículos del reglamento de aguas residuales y sus reformas a la fecha; sin embargo, se realizarán observaciones y recomendaciones especiales para obtener mayores resultados de lo reglamentado.

### **3.1. Contenido del estudio técnico**

Al iniciar el estudio técnico de aguas residuales la unidad de planificación municipal y el consejo municipal deberán preparar una mesa técnica para la planificación de las actividades que se deben desarrollar para la generación del estudio técnico; así mismo, debido a que el estudio técnico es un documento legal, es necesario designar a una persona encargada para contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en el caso que se presente a realizar las inspecciones de evaluación y seguimiento.

A continuación, se detalla la información general que debe contener el estudio técnico para la identificación del ente generador sujeto de estudio.

### 3.1.1. Información general

- Identificación del ente generador.

Se debe detallar la identidad legal del ente generador; es decir, no pueden existir dos identificaciones iguales; sin embargo, para el caso de las municipalidades se puede realizar un estudio técnico para cada una de los proyectos de plantas de tratamiento existentes, por lo que se debe detallar la información para cada una.

Tabla XIII. **Plantilla de información de ente generador municipal**

<b>Información de la municipalidad</b>	
Nombre de la institución, razón o denominación social:	
Nit:	
Dirección de oficinas centrales:	
Teléfono oficinas centrales:	
<b>Estudio técnico</b>	
Departamento:	
Municipio:	
Nombre del proyecto de planta de tratamiento en estudio:	
Dirección del proyecto:	
Fecha de inicio de las actividades sujetas de este estudio:	
<b>Designación de representante</b>	
Persona contacto ante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales:	
Correo electrónico:	
Teléfono de contacto:	

Fuente: elaboración propia.

- Descripción de la naturaleza de las actividades

En esta sección se debe detallar las actividades que realiza el ente generador, con el fin de que el inspector del MARN pueda comprender cuál es la procedencia de las aguas residuales generadas y al mismo tiempo pueda identificar los puntos de generación y características de descarga de las aguas residuales. Por ejemplo, la naturaleza de los entes generadores de un residencial, se comprenderá que generan únicamente aguas residuales de tipo ordinarias; mientras que una industria que utilice el agua como materia prima para modificación de sus productos, puede inferirse que tendrá en sus descargas aguas residuales del tipo especial.

En el caso de la naturaleza de las actividades de las municipalidades, se centra básicamente en la administración de las aguas residuales generadas en el municipio que son descargadas en el alcantarillado público.

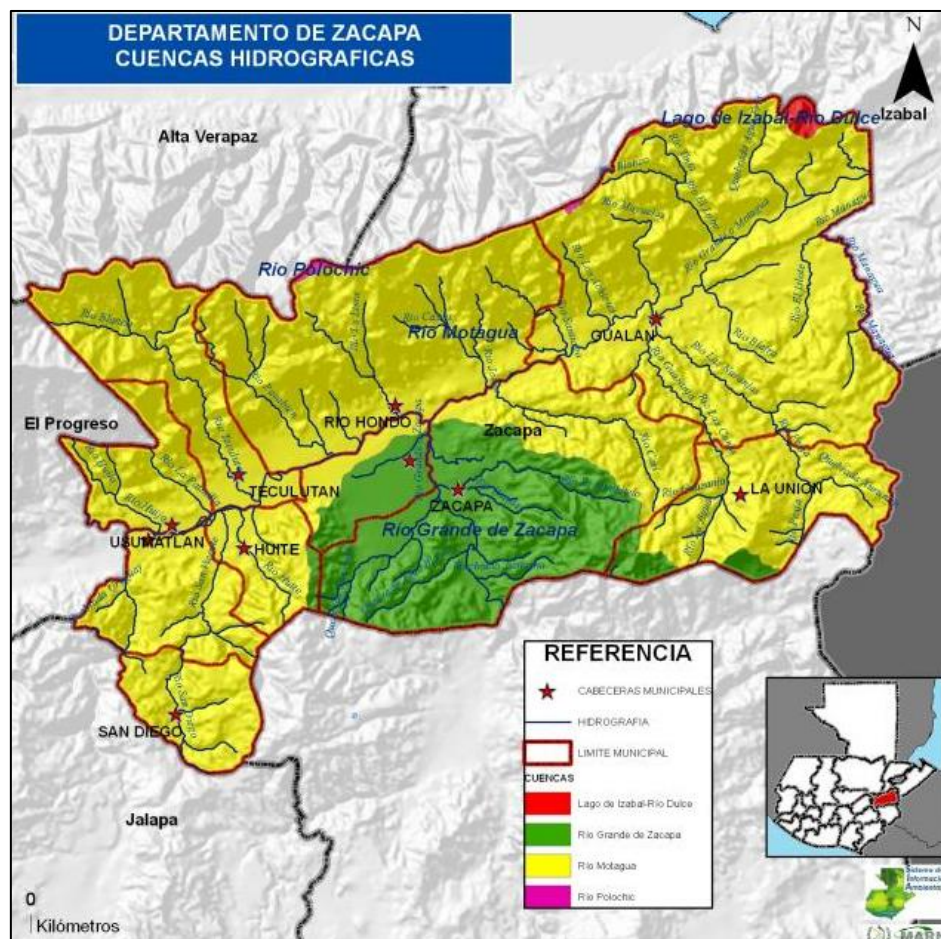
- Descripción de la red hidrológica del municipio

Debido a que el estudio técnico es un documento de gestión integral, y dado que la unidad de territorio de las municipalidades tienen un alto grado de impacto sobre las características de los cuerpos receptores y ríos del país; es necesario realizar una descripción de los ríos que componen la red hidrológica del municipio.

La unidad de estudio es la descarga unificada de la red de alcantarillado de cada casco urbano y la descripción del cuerpo receptor de cada una de las descargas, de tal modo que para la elaboración del estudio técnico general del municipio, se deberá realizar un estudio técnico para cada planta de tratamiento o punto de descarga unificada de la red de alcantarillado sin tratamiento.

A continuación, se ejemplifica la red hidrológica del departamento de Zacapa, y con ello se puede determinar la influencia de cada municipio respecto del otro en tema de contaminación de ríos. Así mismo, se identifica los principales ríos que componen el territorio de cada municipio del departamento de Zacapa.

Figura 15. Red hidrológica del departamento de Zacapa



Fuente: Google Maps. <http://goo.gl/eGwg9i>. Consulta: 26 de mayo de 2016.

- Sectorización de puntos de descarga de aguas residuales

En esta sección se debe realizar una descripción de los puntos de descarga que serán sujetos de estudio por medio de un estudio técnico de aguas residuales. Debido a que la división territorial dentro de los municipios se compone de varios cascos urbanos independientes y cuyo comportamiento en la generación, conducción, tratamiento y punto de descarga son distintos para cada lugar y son independientes uno del otro, se debe realizar un estudio técnico de aguas residuales para cada planta de tratamiento o punto de descarga.

A continuación, se ejemplifica por medio del alcance del municipio de Fraijanes, quien realizó un estudio técnico por cada unidad de producción de aguas residuales y posteriormente realizó un estudio macro en el cual detalla el resumen de todos los estudios.

Figura 16. **Puntos de descarga de aguas residuales del municipio de Fraijanes**



Fuente: *Google Maps*. <https://www.google.com/maps>. Consulta: 15 de julio de 2017.

El criterio para determinar si un punto amerita la realización de un estudio técnico es propio de cada municipio; sin embargo, se puede inferir que todos los puntos de descarga de aguas residuales, provenientes de la red de alcantarillado y plantas de tratamiento administrados por la municipalidad deben ser incluidos en el estudio técnico.

- Inventario de entes generadores tributarios

Este es un punto muy importante para las municipalidades que poseen un sistema alcantarillado y colectores de aguas residuales, debido que por medio de esta información se procederá a realizar una estimación de ingeniería sobre

los caudales y las calidades esperadas de aguas residuales, sin embargo, esto no exime la necesidad de realizar un análisis intensivo de la caracterización del efluente.

La información de los entes generadores puede provenir de las bases de datos de registros catastrales de la municipalidad, levantamiento de información por medio de cuadrillas de entrevistas e inspectores, debido a que en un caso municipal no se encontrará únicamente entes generadores del tipo ordinario, la municipalidad deberá darse la tarea también de solicitar la información de estudio técnico de aguas residuales a cada ente generador que descargue hacia su alcantarillado y catalogarlo como del tipo especial u ordinario.

En el caso de los entes generadores del tipo especial, se debe proceder de oficio a solicitar el cumplimiento con la reducción de parámetros de descarga en base a lo contenido en el reglamento, para poder aceptar la descarga de aguas residuales al alcantarillado público. Para estos entes generadores también se deberá presentar un macro informe sobre la caracterización de los entes generadores del tipo especial que administra la municipalidad. Sin embargo, la responsabilidad del cumplimiento y preparación de estudio técnico y caracterización de efluentes será responsabilidad de cada ente generador.

- Horarios de descarga de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, a diferencia de las industriales o de complejos de oficinas que descargan únicamente en horarios de producción o jornada laboral, poseen descargas de aguas residuales durante las 24 horas del día, diferenciando sus caudales según el horario del día, como se mencionó en el capítulo 1, sección 1.2.2. Por tal motivo, es muy importante que a la hora de realizar el muestreo de aguas



residuales y caudal, se realicen las mediciones de caudal durante 24 horas, se recomienda realizar un estudio intensivo realizando una medición de caudal cada 30 minutos para poder obtener la información de caudal/tiempo e identificación horarios de descargas máximas.

Tabla XIV. **Medición de caudal durante 24 horas acumulativo**

Hora	$Q_p$ =caudal puntual* (m <sup>3</sup> /seg)	QA = caudal acumulado (m <sup>3</sup> )
8:00 horas	$Q_1 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_1 = (m^3/\text{seg}) * (T_{int})$
10:00 horas	$Q_2 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_2 = QA_1 + (Q_2 * T_{int})$
12:00 horas	$Q_3 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_3 = QA_2 + (Q_3 * T_{int})$
14:00 horas	$Q_4 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_4 = QA_3 + (Q_4 * T_{int})$
16:00 horas	$Q_5 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_5 = QA_4 + (Q_5 * T_{int})$
18:00 horas	$Q_6 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_6 = QA_5 + (Q_6 * T_{int})$
20:00 horas	$Q_7 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_7 = QA_6 + (Q_7 * T_{int})$
22:00 horas	$Q_8 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_8 = QA_7 + (Q_8 * T_{int})$
24:00 horas	$Q_9 = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_9 = QA_8 + (Q_9 * T_{int})$
2:00 horas	$Q_{10} = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_{10} = QA_9 + (Q_{10} * T_{int})$
4:00 horas	$Q_{11} = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_{11} = QA_{10} + (Q_{11} * T_{int})$
6:00 horas	$Q_{12} = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_{12} = QA_{11} + (Q_{12} * T_{int})$
8:00 horas	$Q_{13} = \text{Volumen/Tiempo}$	$QA_{13} = QA_{12} + (Q_{13} * T_{int})$
		$QA_{total} = \sum QA$
<p>*<math>Q_p</math>=caudal puntal producto de medición de aforo en campo  <math>T_{in}</math>=intervalo de tiempo entre cada medición de caudal (seg)  <math>QA_{total}</math>=caudal acumulado total del día</p>		

Fuente: elaboración propia.

Posterior de realizar el muestreo y obtención de datos, así como procesamiento de información en el cuadro anterior sobre Medición de caudal durante 24 horas acumulativo, es necesario representar de forma visual la información por medio de gráficas comparativas, las cuales se ejemplifican a continuación con base en datos estimados de una planta de tratamiento de descargas domésticas, las cuales serán en su mayoría los afluentes a plantas de estaciones de tratamiento municipales.

Figura 17. **Gráfica de comportamiento de caudal vs tiempo en un día de operación municipal**



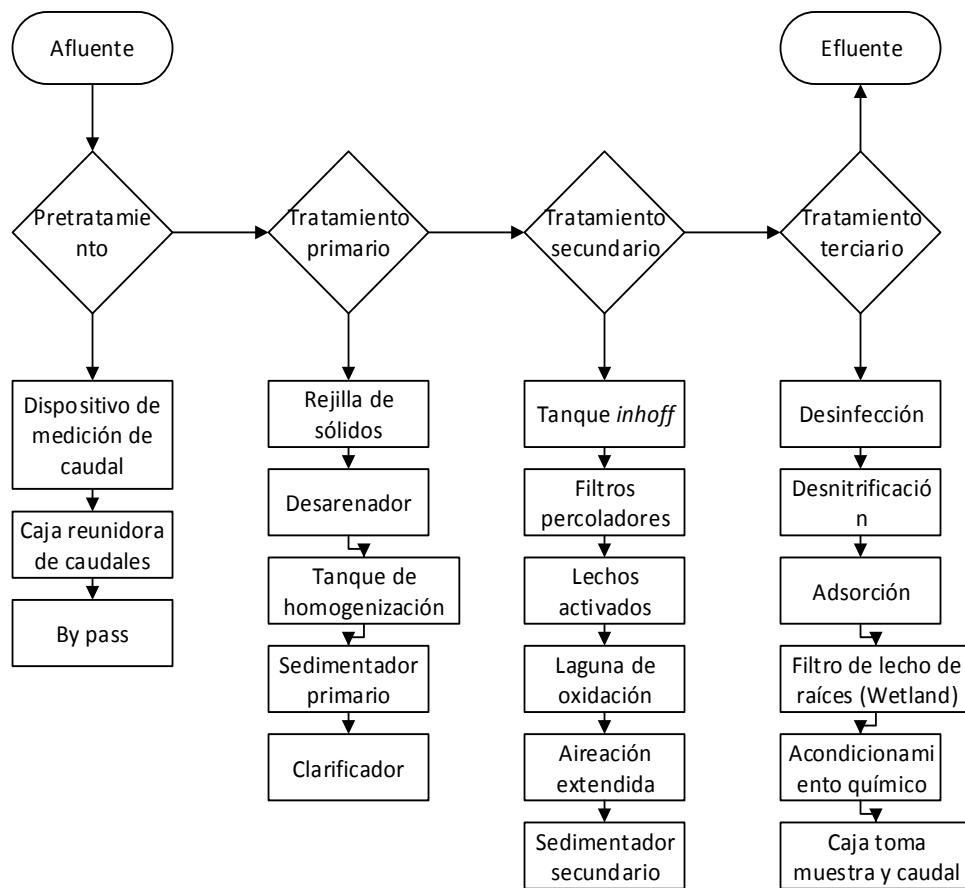
Fuente: elaboración propia.

- **Descripción del tratamiento de aguas residuales**

En esta sección debe quedar plasmado el diagrama del tratamiento, así como la descripción de las dimensiones, capacidades, eficiencias de cada uno de los procesos unitarios que son componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales. En esta sección debe detallarse de la manera más amplia las capacidades del sistema de tratamiento, ya que en posteriores secciones se determinará la necesidad de ampliación del sistema actual, instalación de sistemas complementarios de tratamiento e inferir en el período de vida útil de las estructuras.

Si en dado caso, el desfogue municipal no posee aun una planta de tratamiento, se hará referencia únicamente al sistema de alcantarillado, colectores que componen la red, debido a que los sistemas de conducción también son considerados como parte del tratamiento del agua residual.

Figura 18. Descripción de diagrama de tratamientos en aguas residuales municipales



Fuente: elaboración propia.

- Caracterización del efluente de aguas residuales

Posterior de la realización del muestreo compuesto y del análisis de muestras, se debe realizar el reporte comparativo de los resultados de en fecha que se realizó el estudio técnico frente a las etapas de cumplimiento.

A continuación, se ejemplifica la tabla de resultado de análisis de aguas residuales municipales en contraposición de los valores de descarga por cada etapa de cumplimiento del reglamento.

Tabla XV. **Resultado de análisis de caracterización de aguas residuales del efluente municipal**

Parámetros	Dimensionales	Resultado	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
				Dos de mayo de dos mil diecinueve	Dos de mayo de dos mil veintitrés	Dos de mayo de dos mil veintisiete	Dos de mayo de dos mil treinta y uno
				Etapa			
				Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius		TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	mg/L		100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia / presencia		Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L		700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	mg/L		300	275	200	100	100
Nitrógeno total	mg/L		150	150	70	20	20
Fósforo total	mg/L		50	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	mg/L		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros		$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$

Continuación de la tabla XV.

Arsénico	mg/L		1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cadmio	mg/L		1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cianuro total	mg/L		6	1	1	1	1
Cobre	mg/L		4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/L		1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mercurio	mg/L		0,1	0,02	0,02	0,02	0,01
Niquel	mg/L		6	2	2	2	2
Plomo	mg/L		4	0,4	0,4	0,4	0,4
Zinc	mg/L		10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto		1 500	1 000	1 000	750	500

Fuente: elaboración propia.

Otro parámetro que se debe reportar es la demanda química de oxígeno DQO, para relacionarla con la demanda bioquímica de oxígeno a efectos de establecer un índice de degradabilidad o de tratamiento de las aguas actuales.

Tabla XVI. **Demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, relación DQO/DBO<sub>5</sub>, caudal y total de carga orgánica municipal**

Parámetro	Resultado
Demanda química de oxígeno	mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L
Relación DQO/DBO <sub>5</sub>	unidades
Caudal	m <sup>3</sup> /día
Total de carga orgánica	kg DBO <sub>5</sub> /día

Fuente: elaboración propia.

- Discusión de resultado de parámetros

A continuación de la recopilación de los resultados de laboratorio de los parámetros de descarga de aguas residuales, se debe realizar una discusión de

resultados de cada uno de los parámetros solicitados por el reglamento, a fin de determinar si son necesarias las aplicaciones de equipos complementarios con base en el diagrama de tratamiento de aguas residuales y sus eficiencias, la aplicación de medidas de mitigación.

- Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno es un parámetro químico que debe estar dentro del rango de 6 a 9 unidades, cualquier resultado fuera de este rango debe de prestarle especial importancia para poder realizar un análisis intensivo, debido a que este parámetro afecta a los sistemas de tratamiento biológicos.

- Temperatura

La temperatura debe estar contenida dentro del rango de  $\pm 7$  grados centígrados, de la temperatura del cuerpo receptor. Debido a que la temperatura de los cuerpos receptores puede variar en cada lugar y dependiendo de la época del año, se debe establecer un parámetro base para posteriores estudios del efluente. Sin embargo cambios drásticos en el aumento de temperatura, puede afectar la biota de los cuerpos receptores.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno debe estar contenida en la etapa uno del reglamento, el cual es un máximo de 250 mg DBO<sub>5</sub>/litro.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los

límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo, lo cual deberá ser acreditado en el estudio técnico.

La anterior disposición no exime a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

- Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos deberán estar contenidos en un máximo de 275 mg/L en la etapa uno de los límites máximos permisibles.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo, lo cual deberá ser acreditado en el estudio técnico.

La anterior disposición no exime a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

- Sólidos sedimentables

Los sólidos sedimentables no se encuentran contenidos dentro de los límites máximos permisibles en ninguna de sus etapas, sin embargo son solicitados en el estudio técnico.

- Materia flotante

La materia flotante debe estar ausente en todas las etapas de cumplimiento del reglamento, por lo que la presencia de esta puede ser indicativo de ausencia de un sistema de tratamiento o bien la ineficiencia del sistema actual, y serán necesarias implementar medidas para disminuir este parámetro. Es necesario recordar que según el artículo 24 todas las municipalidades deberán contar en operación con un tratamiento primario al cumplirse la primera etapa del reglamento.

- Grasas y aceites

Este parámetro deberá contenido dentro del límite de la primera etapa del reglamento, el cual es de 50 mg/L. El aumento de este parámetro deberá ser de especial estudio para poder inferir en la eficiencia de los sistemas de tratamiento primarios.

- Nitrógeno total

Este parámetro deberá estar contenido dentro del límite máximo permisible de la primera etapa de hasta 150 mg/L.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo, lo cual deberá ser acreditado en el estudio técnico.



La anterior disposición no exime a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

- Fósforo total

Este parámetro deberá estar contenido dentro del límite máximo permisible de la primera etapa de hasta 40 mg/L.

Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetas a los límites máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno total y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, del presente artículo, lo cual deberá ser acreditado en el estudio técnico.

La anterior disposición no exime a las municipalidades de cumplir con límites máximos permisibles de los parámetros del párrafo anterior en las etapas subsiguientes.

- Color

Este parámetro deberá estar contenido dentro del límite máximo permisible de la primera etapa de hasta 1000 unidades de platino cobalto. Debido a que este parámetro es una propiedad que depende de la cantidad de materia de otras propiedades, cualquier aumento deberá concluirse junto con la causa.

- Coliformes fecales

El grupo de bacterias de las coliformes fecales, deberá estar contenido hasta el límite máximo permisible, con un número más probable de unidades formadoras de colonias en una muestra de 100 mL debe ser menor de  $1 \times 10^7$ .

- Relación DQO/DBO<sub>5</sub>

La relación determina un índice de la viabilidad del tratamiento de las aguas residuales por medio de tratamientos biológicos, se enuncia que si la relación posee un resultado de 0,3, el efluente contiene sustancias tóxicas.

- Total de carga orgánica

Es el resultado más importante, es representativo de la carga de contaminación vertida sobre un cuerpo receptor y se relaciona por medio de la demanda biológica de oxígeno. El límite máximo permisible quedará determinado por el cuadro siguiente, y la carga orgánica inicial se determinará en el primer estudio técnico que se realice.

Tabla XVII. **Modelo de reducción progresiva de carga orgánica en municipalidades**

Etapa	Uno				
Fecha máxima	Dos de mayo de dos mil diecinueve				
Duración (años)	5				
Carga (kg DBO <sub>5</sub> /día)	3 000≤EG <6 000	6 000≤EG <12 000	12 000≤EG <25 000	25 000≤EG <50 000	50 000≤EG <250 000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
Etapa	Dos				
Fecha máxima	Dos de mayo de dos mil veinticuatro				
Duración (años)	4				
Carga (kg DBO <sub>5</sub> /día)	3 000≤EG <5 500	5 500≤EG <10 000	10 000≤EG <30 000	30 000≤EG <50 000	50 000≤EG <125 000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50

Continuación de la tabla XVII.

<b>Etapa</b>	<b>Tres</b>				
Fecha máxima	Dos de mayo de dos mil veintiocho				
Duración (años)	5				
Carga (kg DBO <sub>5</sub> /día)	3 000≤EG <5 000	5 000≤EG <10 000	10 000≤EG <30 000	30 000≤EG <65 000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
<b>Etapa</b>	<b>Cuatro</b>				
Fecha máxima	Dos de mayo de dos mil treinta y tres				
Duración (años)	4				
Carga (kg DBO <sub>5</sub> /día)	3 000≤EG<4 000		4 000≤EG<7 000		
Reducción porcentual	40		60		

EG = carga del ente generador correspondiente, en kilogramos por día.

Fuente: elaboración propia.

- Metales pesados

Los metales pesados quedarán limitados en base al cuadro de la tabla XV, su detección representa un serio problema para los sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a que la procedencia de estos productos químicos únicamente puede ser procedente de efluentes conectados al alcantarillado público del tipo especial, es decir efluentes industriales que no realizan el debido proceso de purificación antes de descargarlos. Las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales con seguridad no estarán diseñadas para el tratamiento de dichos compuestos, por lo que se deberán tomar medidas de mitigación adecuadas con respecto a la identificación del ente generador que produce las aguas especiales.

- Caracterización de las aguas para reuso

En esta sección se debe especificar el tipo de reuso que en dado caso pudiera darse al efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta los tipos autorizados por el reglamento en el artículo 34.

Tabla XVIII. **Caracterización de aguas municipales para reúso**

Tipo de reúso	Valor DBO <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Valor Coliformes fecales	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I		No aplica		No aplica
Tipo II		No aplica		< 2x10 <sup>2</sup>
Tipo II		200		No aplica
Tipo IV		No aplica		< 1x10 <sup>3</sup>
Tipo V		200		< 1x10 <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

- **Caracterización de lodos a disponer**

En esta sección se debe enunciar los resultados de la caracterización fisicoquímica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales, los cuales deberán ser dispuestos de acuerdo a lo autorizado en el artículo 41.

En esta sección no es necesario describir cual es la metodología y tecnología utilizada para el tratamiento de los lodos, esto se aborda en la sección sobre la descripción de tratamiento de aguas residuales.

Tabla XIX. **Caracterización de lodos municipales**

Parámetro	Dimensiones	Valores de lodos	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca a 104° C		50	100	> 100
Cadmio			50	100	> 100
Cromo			1 500	3 000	> 3 000
Mercurio			25	50	> 50
Plomo				500	1 000

Fuente: elaboración propia.

- Caracterización del afluente

Esta sección no aplica para las municipalidades, debido a que son entes administradores del tratamiento de aguas residuales.

- Identificación del cuerpo receptor hacia el cual se descargan las aguas residuales

Debido a que en las secciones anteriores del estudio técnico se discutió la necesidad de realizar una investigación intensiva sobre la red hidrológica del departamento, identificando así los cuerpos de agua que lo componen y así mismo los puntos de descarga de cada planta de tratamiento o punto de desfogue de alcantarillado municipal, en esta sección se debe detallar el río y la ubicación geográfica en donde se encuentra el dispositivo de descarga de aguas residuales.

- Enumeración de parámetros exentos de medición y su justificación

En la presente sección se deberá detallar la enumeración de parámetros de descarga de aguas residuales que, por las características de las aguas administradas por la municipalidad, no son necesarias ser medidas semestralmente, sin embargo conociendo la capacidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, no es recomendable realizar una exención de parámetros debido a que los entes generadores conectados al alcantarillado público pueden realizar vertidos especiales.

### **3.1.2. Documentos del estudio técnico**

- Plano de localización y ubicación del ente generador

El plano de localización puede ser un documento de formato que el profesional encargado tome en consideración en base a su criterio, sin embargo a continuación se enuncian algunas recomendaciones para la elaboración del mismo:

- Plano tamaño A3 o A4.
  - Plano a escala 1:50,000.
  - Norte.
  - Capa de división política del municipio.
  - Capa de red hidrológica del municipio.
  - Capa de centros poblados y urbanizaciones tributarias.
  - Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales con localización de coordenadas geográficas.
- Plano de localización y ubicación de los dispositivos de descarga

Este plano es parecido al anterior, con la diferenciación que se debe realizar una escala menor para poder identificar los dispositivos de toma de muestra, medición de caudal y descarga del efluente municipal, a continuación se enuncian algunas recomendaciones para la elaboración del mismo:

- Plano tamaño A3.
- Plano a escala, especificar.
- Norte.
- Linderos de la ubicación de la planta de tratamiento.

- Distribución de los componentes de la planta de tratamiento.
  - Ubicación de los dispositivos con localización de coordenadas geográficas.
  - Capa de cuerpo receptor, red hidrológica.
- Plan de Gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos

Un plan de gestión contiene los proyectos que se van a desarrollar durante un período de tiempo, en el caso de los estudios técnicos la base de planificación debería ser de cinco años, debido a que es el período de validez del estudio técnico, posteriormente es necesario realizar una actualización, estos proyectos pueden ser permanentes o de carácter temporal en función de que las actividades se ejecuten en años venideros o se lleven a cabo en un tiempo determinado respectivamente.

A continuación, se detalla la propuesta de un plan de gestión de aguas residuales municipales, sin embargo los procesos y actividades serán de discusión en cada caso, obedeciendo a las necesidades de cada municipio, tomando siempre en consideración los requerimientos del reglamento.

Tabla XX. **Plan de gestión de aguas residuales, aguas para reuso y lodos municipales**

Proceso	Objetivo	Actividad	Fecha a implementar	
Desarrollo social	Implementar un programa de gestión	Definir el listado de actividades necesarias para ejecutar el plan de gestión del agua residual que reciben los colectores municipales.		
	Analizar el impacto en el recurso hídrico de cualquier crecimiento en las viviendas	Adjuntar al Estudio Técnico la documentación referente a las variaciones en las actividades habitacionales que afecten el recurso hídrico.		
	Implementar un programa de comunicación	Programa de comunicación habitacional, para desarrollar la conciencia del aprovechamiento del recurso hídrico y la importancia de eliminar descargas crudas.		
	Implementar Programa de capacitación permanente	Programa de capacitación permanente a la población en general y empresas/comercios.		
	Proporcionar de acceso a alcantarillado público a poblaciones aledañas.		Levantamiento de información espacial e identificación de zonas.	
			Planificación de ejecución de proyectos de introducción de alcantarillado.	
Ejecución de proyectos de alcantarillado público.				
Caudal	Revisar que las conexiones domiciliarias si estén conectadas al alcantarillado sanitario.	Realizar la conexión del 100 % de las casas hacia el alcantarillado sanitario.		
	Dirigir las aguas residuales hacia una planta de tratamiento.	Conducir las aguas grises y negras hacia el alcantarillado sanitario, y que este a su vez sea dirigido a una planta de tratamiento		
	Optimizar la utilización del recurso hídrico.	Trazo de metas de consumo de agua.		
		Realizar campaña de concientización de uso racional del agua.		
		Revisar conexiones ilícitas al alcantarillado público como drenajes pluviales.		
Inventariar los entes generadores tributarios del sistema de tratamiento de aguas residuales.	Catastro de entes generadores.			
	Monitoreo de descargas de entes generadores.			
Parámetros de descarga	Implementación de programa de muestreo según requerimientos del reglamento.	Programa de muestreo y análisis; Contratación e Implementación.		
		Adjuntar registros al estudio técnico		
	Monitorear los metales pesados	Determinar el origen de los metales pesados detectados, solicitar y generar un plan de gestión específico.		
		Adjuntar registros al estudio técnico		



Continuación de la tabla XX.

	Instalar dispositivos de control y medición	Instalar el dispositivo de toma de muestras y caudal, que sea específico para este proceso.	
	Definir estrategias a seguir con los parámetros fuera de norma.	Definir la tecnología y construcción a implementar para tratar los parámetros fuera de norma luego de la caracterización. Solicitar al proveedor de la tecnología asistencia para mejorar la eficiencia y alcanzar las metas.	
Disposición de lodos	Reducir el impacto ambiental de los lodos generados	Retiro de lodos por medio de personal capacitado.	
		Llevar documentación con respecto al procedimiento de secado de lodos en el área de la planta	
		Llevar un registro de descarga de lodos residuales, incluyendo volumen y frecuencia de extracción.	
		Adjuntar registros al estudio técnico	
		Evaluar alternativas de disposición como abono orgánico para vivero municipal según resultados de caracterización.	

Fuente: elaboración propia.

- Plan de tratamiento de aguas residuales

El objetivo del plan de tratamiento de las aguas residuales, es organizar y listar las actividades necesarias para mejorar el tratamiento de las aguas residuales municipales.

- Actividades

- Capacitar a los operarios para que puedan realizar las labores que el manual de la planta de tratamiento de aguas residuales requiera.

- Evaluar la desinfección del efluente por medio de un clorinador automático en la salida de la planta. Se recomienda hipoclorito de sodio al 10 % p/v. Requerir el acompañamiento de una empresa o experto en cloración.
- Evaluar alternativas para aumentar la eficiencia de la planta en cuanto al parámetro de demanda bioquímica de oxígeno. Se debe consultar a un experto.
- Evaluar la eficiencia después de estas actividades para decidir los pasos a seguir según resultados obtenidos.

- Cronograma de implementación:

Ver fechas meta para cada etapa.

- Resultados propuestos del plan de gestión:

Inmediatos

- Informes de resultados de caracterizaciones realizadas

Se deben presentar un anexo de los resultados de laboratorio de la caracterización de los efluentes, aguas para reuso, lodos a disponer y caudales. De igual manera se deben recopilar los análisis de laboratorio realizados en base al cronograma de actividades de muestreos, las cuales deberán contener como mínimo lo siguiente:

**Tabla XXI. Programación de muestreos de parámetros en municipalidades**

<b>Toma de muestra</b>	<b>Tipo de análisis</b>	<b>Fecha de muestreo</b>
1	Análisis fisicoquímico y metales pesados de agua residual y análisis de lodos, medición de caudal.	1er semestre año 1
2		2do semestre año 1
3		1er semestre año 2
4		2do semestre año 2
5		1er semestre año 3
6		2do semestre año 3
7		1er semestre año 4
8		2do semestre año 4
9		1er semestre año 5
10		2do semestre año 5

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. El agua residual es la principal fuente de contaminación hídrica en Guatemala, a pesar que sí existe una normativa para la prevención y control de la contaminación de los recursos hídricos en Guatemala.
2. La municipalidad de Guatemala no posee estudio técnico de aguas residuales, pese a ser el modelo de urbanización y desarrollo del país, no obedece a la normativa por carecer de interés en abordar la problemática desde el punto de vista del reglamento.
3. La realización del estudio técnico de aguas residuales no implica un presupuesto inalcanzable por las municipalidades en comparación de la implementación de los sistemas de tratamiento; por lo que ninguna municipalidad debería tener impedimento económico para la realización del documento.
4. El reglamento posee cuatro etapas de cumplimiento estratégicos para la implementación de sistemas de tratamiento con un período total de 23 años inicialmente finalizando el año 2029; sin embargo, se han realizado reformas al reglamento, extendiendo este período hasta 25 años finalizando en el año 2031, por solicitudes de las municipalidades de ampliación de tiempo para poder cumplir con la normativa.
5. La fecha máxima para la realización del estudio técnico de aguas residuales debía ser en el plazo de un año contando a partir de la vigencia del reglamento; sin embargo, debe ser actualizado cada cinco

años por lo que el presente documento sirve de mejora continua y de utilidad para las municipalidades que aún no han iniciado con la realización del estudio técnico.

6. Las municipalidades debieron cumplir con haber realizado el estudio técnico de aguas residuales a más tardar en mayo de 2007, y realizar una actualización cada cinco años posteriormente.
7. Las municipalidades deben de tener en operación un sistema de tratamiento primario a más tardar, al cumplirse la primera etapa en dos de mayo de 2019, y reducir sus cargas progresivamente hasta cumplir con las metas en el año 2031.
8. Al iniciar en la realización del estudio técnico municipal de aguas residuales, se debe iniciar identificando todos los puntos de descarga de aguas residuales procedentes del alcantarillado público, el cual indicará la cantidad de estudios unitarios que se deben realizar para el municipio. Posteriormente, se debe realizar una caracterización de las aguas residuales por medio de un muestreo compuesto de 24 horas y paralelo a ello un levantamiento catastral de los entes tributarios al alcantarillado público.

## RECOMENDACIONES

1. Se debe cumplir con el *reglamento de aguas residuales, reuso y disposición de lodos* como mínimo estándar de calidad de descarga de aguas residuales a los cuerpos receptores.
2. Es necesario realizar un inventario de fuentes de contaminación y caracterizaciones a nivel municipal para conocer a detalle la magnitud del problema de contaminación hídrica por fuentes de aguas residuales, para tomar decisiones en planes de mitigación y planes de prevención.
3. Se recomienda implementar la metodología de realización de estudio técnico de aguas residuales descrita en el presente trabajo de graduación, sin embargo no es la única metodología y será decisión de la municipalidad en base a sus criterios y capacidades.
4. Se recomienda realizar una matriz de identificación de puntos de descarga de aguas residuales en el municipio en estudio, y realizar un estudio técnico individual por cada punto y posteriormente realizar un documento maestro que resuma la información de la gestión de las aguas residuales en el municipio.
5. Se recomienda contratar una empresa consultora privada para la realización de estudios técnicos y caracterización de efluentes, con el acompañamiento de un comité multidisciplinario municipal, que aporte la generación y recopilación de la información necesaria para dicho documento.






## BIBLIOGRAFÍA

1. DURO TAMASIUNAS, José Miguel. *Atlas temático de la república de Guatemala*. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2015. 62 p.
2. FERRER, José. SECO, Aurora. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. México: Alfaomega, 2008. 188 p.
3. GARCÍA LAGUARDIA, Jorge Mario. *Breve historia constitucional de Guatemala. Publicación extraordinaria*. Guatemala: Instituto de Antropología e Historia, 2010. 118 p.
4. GEMMELL BOLAÑOS, Juan Pablo. *Evaluación de la eficiencia de la degradación de la materia orgánica en términos fisicoquímicos en la planta de tratamiento de aguas negras de Bello Horizonte*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2007. 176 p.
5. KELSEN, Hans. *Teoría pura del derecho*. 4a ed. 9ª reimp. Buenos Aires: Eudeba, 2009. 224 p.
6. MIHELIC, James R.; ZIMERMAN, Julie Beth. *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad y diseño*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., 2011. 720 p.

7. NOYOLA, Adalberto; SAGASTUME, Juan Manuel; GÜERECA, Leonor Patricia. *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México: Alfaomega, 2013. 127 p.
8. RAMALHO, R. S. *Tratamiento de aguas residuales*. México: Reverté, 2009. S.A. México. 705 p.
9. ROJAS, Ana María. *Módulo educativo: nociones del derecho ambiental*. Guatemala: Ministerio Público, Unidad de Capacitación, MO, 2011. 106 p.
10. RUSSELL, David Lloyd. *Tratamiento de aguas residuales: un enfoque práctico*. Barcelona, España: Reverté, 2012. 273 p.

# ANEXOS

## Anexo 1. Análisis de agua residual

		<b>RESULTADO DE ANÁLISIS AGUA RESIDUAL</b>		Página 1 de 1	
				Mayo 2016 Versión 04	
				RT.06.01	
<b>Datos del Cliente</b>			<b>Identificación de la Muestra</b>		
<b>Atención a:</b> <b>Empresa:</b> <b>Dirección:</b> <b>Teléfono:</b> <b>Correo electrónico:</b>			<b>Tipo de muestra:</b> <b>Lugar de captación:</b> <b>Fecha y hora de Captación:</b> <b>Captada por:</b> <b>Identificación de la muestra:</b> <b>Análisis solicitados:</b>		
<b>Datos de Ingreso al Laboratorio</b>					
<b>No. de orden de servicio:</b> <b>No. De Laboratorio:</b> <b>Fecha de Ingreso:</b> <b>Fecha de Inicio de análisis:</b>			<b>Hora de Ingreso:</b> <b>Temp. de transporte °C.:</b> <b>Tipo de recipiente:</b>		
<b>Resultados de los Análisis Físicos y Químicos</b>					
<b>Parámetro</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Resultado</b>	<b>Campo</b>	<b>Método de Referencia</b>	
pH	unidades	-		SMWW <sup>1</sup> -4500H+B	
Materia Flotante	NE	-		SMWW <sup>1</sup> -45000	
Temperatura	°C	-		SMWW <sup>1</sup> -2550-B	
Color	unidades	-	-	SQM <sup>2</sup> -Color	
Nitrógeno Total	mg/L	-	-	SQM <sup>2</sup> -14537	
Fósforo Total	mg/L	-	-	SQM <sup>2</sup> -14543	
Grasas y Aceites	mg/L	-	-	SMEWW <sup>1</sup> -5520 B	
Sólidos en Suspensión	mg/L	-	-	SMEWW <sup>1</sup> -2540 D	
Sólidos Sedimentables	mL/L	-	-	SMEWW <sup>1</sup> -2540 F	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	SQM <sup>2</sup> -14540	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	-	-	SMEWW <sup>1</sup> -5210 B	
<b>Resultados de los Exámenes Microbiológicos</b>					
Coliformes Fecales	NMP/100mL	-	-	SMEWW <sup>1</sup> -9221B	

Método de muestreo SMEWW1-1050 / 9060 A.

Aplica única y exclusivamente a las muestras captadas por personal de LABIND y/o personal capacitado por LABIND.

ND=No Detectable debajo del límite de detección. \* = No efectuado NE: No Especificado

1 Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 21th ed. (SMEWW) American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

2Spectroquant Merck. mg/L= miligramos por litro=ppm=partes por millón. mL/L=millilitros por litro.

Resultados válidos únicamente a la muestra analizada y tal como fue recibida en el laboratorio.

Los resultados de este informe no pueden ser reproducidos parcial o totalmente sin previa autorización del laboratorio.

El tiempo almacenamiento de registro: 4 años.

Transcrito por:

Fecha de reporte:

Gerente Técnico de Laboratorio

Director Técnico

Archivo de Calidad: 23.1

15 CALLE "A" 14-40 ZONA 10 Guatemala, C.A. PBX: (502) 2247-8400  
www.labind.com info@labind.com

Fuente: Laboratorio biológico industrial. www.labind.com Consulta: 11 de octubre de 2017.

## Anexo 2. Diagrama de Gant para la elaboración de estudio técnico de aguas residuales

