



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

**VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REÚSO
DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO
AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE**

Lísbeth Manoela Galindo Cruz

Asesorado por el Ing. Ribelino Santos Monterroso

Guatemala, agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REÚSO
DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO
AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LÍSBETH MANOELA GALINDO CRUZ

ASESORADO POR EL ING. RIBELINO SANTOS MONTERROSO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2015

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda
EXAMINADOR	Inga. Maria Alejandra Ma Villatoro
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:

VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 2 de octubre de 2013.



Lisbeth Manoela Galindo Cruz

Guatemala, 5 de enero de 2015

**INGENIERO
VÍCTOR MANUEL MONZÓN
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PRESENTE.**

Estimado ingeniero:

Por medio de presente hago de su conocimiento que he tenido a la vista el INFORME FINAL denominado "VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE", presentado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, Lísbeth Manoela Galindo Cruz con Carné: 200110358; el cual a mi criterio, APRUEBO.

Atentamente,


Ribelino Santos Monterroso
Ingeniero Químico
Colegiado 918

Ribelino Santos Monterroso
INGENIERO QUÍMICO
COLEGIADO No. 918

MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA
INGENIERO CIVIL - HIDROGEOLOGO

Guatemala, 20 de enero de 2015

INGENIERO
VICTOR MANUEL MONZÓN VALDÉZ
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
PRESENTE

Por este medio le informo que revisé el **Informe Final** de la estudiante **Lísbeth Manoela Galindo Cruz**, con Carné: **200110358**, de la carrera de **Ingeniería Ambiental**, el cual lleva por título: "VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE", habiéndolo encontrado satisfactorio, por lo cual lo **APRUEBO**.

Sin otro particular. Atentamente,



Ing. Manuel Arrivillaga Ochaeta
Asesor-Supervisor

Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
Ingeniero Civil
Colegiado No. 2478



Guatemala, 10 de marzo de 2015.
Ref.EPS.D.122.03.15.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE TIENEN ESAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Lisbeth Manoela Galindo Cruz, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
DIRECCION
Escuela de Prácticas de Ingeniería EPS
Facultad de Ingeniería

SJRS/ra



Guatemala, 03 de junio de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.030.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo 001-2014 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 Ejercicio Profesional Supervisado-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Lísbeth Manoela Galindo Cruz**.
Identificada con número de carné: **2001-10358**.
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

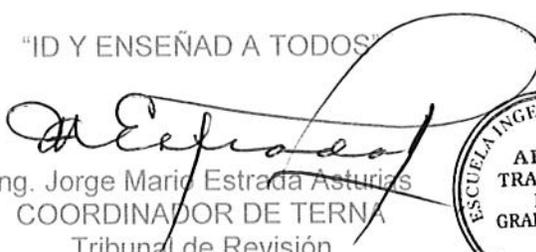
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Ribelino Santos Monterroso**.

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"


Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.102.2015

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 estudiante, **LÍSBETH MANOELA GALINDO CRUZ** titulado: "VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE". 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. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, julio 2015

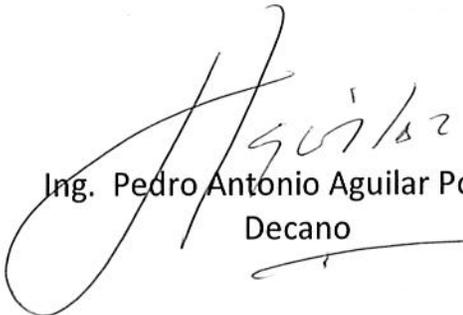
Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 382.2015

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: **VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CIUDAD VIEJA, SACATEPÉQUEZ Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL QUE TIENEN ESTAS AGUAS SOBRE EL RÍO GUACALATE**, presentado por la estudiante universitaria: **Lisbeth Manoela Galindo Cruz**, 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, 5 de agosto de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, fortaleza y sabiduría para alcanzar mis metas y ser siempre la luz que guía mi camino.
- Mis padres** Por ser un ejemplo a seguir, por estar a mi lado en los momentos difíciles, por brindarme su apoyo y amor incondicional, y nunca dejar de creer en mí. Este logro es de ustedes, los amo mucho.
- Mi esposo** Cristhian Castro y a mis bebés, Diego Andrés y Ana Sofía Castro, por su amor, paciencia y apoyo durante este proceso. Gracias por ser mi fuente de inspiración y mi fortaleza. Los amo mucho.
- Mis hermanos** Adriana, Luisa, Juan José y David Galindo Cruz por estar siempre en los momentos en los que los he necesitado. Son un ejemplo de lucha y amor.
- Mis sobrinos** Adriana María Godoy, Víctor José y Pablo Rodrigo Barrios, los quiero con todo mi corazón.

Mis suegros

Leticia López, Lauro Castro y a mi cuñado Lauro Castro, por brindarme su apoyo, además de todo el amor y cuidado para mis hijos.

Mi familia

Ana Samayoa, Lila Cherchi, Víctor Barrios y Cesar Urrutia por su buena voluntad, cariño y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la casa de estudios que ayudó a mi formación profesional.
Facultad de Ingeniería	Por formarme académicamente para ser una profesional exitosa.
Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”	Por sus servicios prestados para llevar a cabo el análisis de las muestras de agua.
Mis asesores	Ing. Ribelino Santos Monterroso, Ing. Julio Héctor Martínez Ordóñez e Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta, por el tiempo, dedicación y consejos que me brindaron durante el desarrollo de esta investigación y por su buena voluntad.
Municipalidad de Ciudad Vieja, Sacatepéquez	Por facilitarme el apoyo del personal y el uso de sus instalaciones para el desarrollo de la presente investigación.
Finca El Potrero	Por permitirnos el ingreso a sus instalaciones y a todas aquellas personas que, con su colaboración y participación, ayudaron a la finalización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
Hipótesis.....	XXVI
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. El agua	5
2.2. Disponibilidad y distribución del recurso hídrico en Guatemala.....	7
2.3. Ciclo hidrológico	9
2.4. Clasificación de los cuerpos de agua	10
2.4.1. Ríos	10
2.4.2. Lagos.....	10
2.4.3. Aguas subterráneas.....	11
2.5. Calidad del agua.....	11
2.6. Aguas residuales	12
2.7. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos	12
2.7.1. Análisis físico	12
2.7.1.1. Color	13
2.7.1.2. Olor.....	13

	2.7.1.3.	Temperatura.....	13
	2.7.1.4.	Sólidos totales	14
2.7.2.		Análisis químico	15
	2.7.2.1.	Oxígeno disuelto	15
	2.7.2.2.	Grasas y aceites.....	15
	2.7.2.3.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	16
	2.7.2.4.	Demanda química de oxígeno (DQO).....	16
	2.7.2.5.	Nitrógeno (N).....	17
	2.7.2.6.	Fósforo (P)	18
2.7.3.		Análisis bacteriológico.....	18
	2.7.3.1.	Coliformes fecales.....	18
2.7.4.		Análisis de metales pesados.....	19
	2.7.4.1.	Arsénico (As).....	19
	2.7.4.2.	Cadmio (Cd)	20
	2.7.4.3.	Cobre (Cu).....	20
	2.7.4.4.	Mercurio (Hg)	21
	2.7.4.5.	Níquel (Ni)	22
	2.7.4.6.	Plomo (Pb)	22
2.8.		El medio ambiente.....	23
	2.8.1.	Elementos del ambiente	23
		2.8.1.1. Elementos físicos	23
		2.8.1.2. Elementos biológicos	24
	2.8.2.	La contaminación del agua.....	25
	2.8.3.	Principales problemas en aguas superficiales.....	28
2.9.		Estimación de impactos ambientales	30
	2.9.1.	Descripción del medio	30
	2.9.2.	Factores ambientales	30

2.9.3.	Impacto ambiental	31
2.9.3.1.	Calificación de los impactos ambientales	31
2.9.3.2.	Significancia de los impactos ambientales	35
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	37
3.1.	Variables.....	37
3.2.	Delimitación del campo de estudio	38
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	38
3.4.	Recursos materiales disponibles	38
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	39
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	39
3.6.1.	Realización de la línea base del municipio	39
3.6.2.	Selección del área de muestreo	39
3.6.3.	Periodicidad de muestreo	40
3.6.4.	Recolección de muestras	40
3.6.5.	Determinación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.....	40
3.6.6.	Revisión del marco legal.....	40
3.6.7.	Estimación del impacto ambiental	41
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	41
3.8.	Análisis estadístico	41
3.8.1.	Estadística descriptiva	42
3.8.1.1.	Media aritmética	42
3.8.1.2.	Desviación estándar	42
3.8.1.3.	Coeficiente de variación	43
3.8.1.4.	Valores mínimos y máximos	43

3.8.1.5.	Gráficas de dispersión.....	43
3.8.1.6.	Gráficas de barras.....	44
3.8.1.7.	Gráficas circulares.....	44
4.	RESULTADOS.....	45
4.1.	Puntos de muestreo.....	46
4.2.	Análisis estadístico.....	53
4.3.	Estimación del impacto ambiental.....	56
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	59
5.1.	Verificación del cumplimiento del <i>Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos</i>	60
5.1.1.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	60
5.1.2.	Grasas y aceites.....	62
5.1.3.	Sólidos suspendidos.....	64
5.1.4.	Color.....	65
5.1.5.	Nitrógeno total.....	67
5.1.6.	Fósforo total.....	69
5.1.7.	Coliformes fecales.....	70
5.1.8.	Arsénico.....	72
5.1.9.	Cadmio.....	74
5.1.10.	Cobre.....	75
5.1.11.	Mercurio.....	77
5.1.12.	Níquel.....	78
5.1.13.	Plomo.....	79
5.1.14.	Zinc.....	81
5.2.	Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua.....	82

5.3.	Caracterización de Ciudad Vieja, Sacatepéquez (Línea base).....	87
5.3.1.	Datos históricos	87
5.3.2.	Costumbres y tradiciones	88
5.3.3.	Ubicación geográfica	89
5.3.4.	División políticoadministrativa.....	90
5.3.5.	Demografía.....	91
5.3.6.	Economía.....	91
5.3.7.	Educación.....	92
5.3.8.	Idioma	92
5.3.9.	Religión.....	93
5.3.10.	Orografía.....	93
5.3.11.	Hidrografía	93
5.3.12.	Geología	94
5.3.13.	Suelos.....	96
5.3.14.	Vocación de los suelos	97
5.3.15.	Clima	100
	5.3.15.1. Temperatura	101
	5.3.15.2. Precipitación	104
	5.3.15.3. Evaporación.....	106
5.3.16.	Zonas de vida	107
5.3.17.	Flora y fauna.....	109
5.3.18.	Áreas protegidas.....	109
5.3.19.	Sismología	110
5.3.20.	Amenazas naturales	111
5.3.21.	Agua potable.....	112
5.3.22.	Drenaje	112
5.3.23.	Energía eléctrica	112
5.3.24.	Telefonía.....	112

5.3.25.	Disposición de residuos.....	113
5.3.26.	Centros asistenciales	113
5.3.27.	Vías de comunicación	114
5.3.28.	Transporte público.....	114
5.3.29.	Áreas recreativas	115
5.3.30.	Centros turísticos y arqueológicos	115
5.4.	Estimación del impacto ambiental por la descarga de aguas residuales.....	116
5.4.1.	Área de influencia directa	116
5.4.2.	Área de influencia indirecta	117
5.4.3.	Impactos al medio físico	117
5.4.3.1.	Agua.....	117
5.4.3.2.	Suelo	125
5.4.3.3.	Aire.....	128
5.4.4.	Impactos al medio biológico	134
5.4.4.1.	Flora	135
5.4.4.2.	Fauna.....	138
5.4.4.3.	Ecología	146
5.4.5.	Impacto al medio socioeconómico y cultural	152
5.4.5.1.	Social.....	153
5.4.5.2.	Económico.....	159
5.4.5.3.	Cultural.....	165
5.4.6.	Resumen de la estimación de impactos ambientales	172
5.5.	Plan de manejo ambiental.....	176
5.5.1.	Línea base.....	177
5.5.2.	Estudio técnico	177
5.5.3.	Verificación del cumplimiento del <i>Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales</i>	178

5.5.4.	Tratamiento de aguas.....	179
5.5.4.1.	Pretratamiento	180
5.5.4.2.	Tratamiento primario.....	182
5.5.4.3.	Tratamiento secundario	182
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	187
	CONCLUSIONES	189
	RECOMENDACIONES.....	191
	BIBLIOGRAFÍA.....	193

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de cuencas hidrográficas de Guatemala	7
2.	Ciclo hidrológico	9
3.	Ubicación de los puntos de muestreo de aguas residuales de Ciudad Vieja, Sacatepéquez	46
4.	Punto 1	48
5.	Punto 3	49
6.	Punto 4	50
7.	Punto 5	51
8.	Punto 7	52
9.	Punto 9	53
10.	Demanda bioquímica de oxígeno reportada durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo.....	62
11.	Grasas y aceites reportados durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	63
12.	Sólidos suspendidos reportados durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo.....	65
13.	Color reportado durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo	67
14.	Nitrógeno total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	68
15.	Fósforo total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo.....	70

16.	Coliformes fecales reportadas durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo	72
17.	Arsénico reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	73
18.	Cadmio reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	75
19.	Cobre reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	76
20.	Mercurio reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	78
21.	Níquel reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	79
22.	Plomo reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	80
23.	Zinc reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	82
24.	Ubicación de Ciudad Vieja, Sacatepéquez	90
25.	Municipio de Ciudad Vieja, Sacatepéquez	91
26.	Volcán de Agua	94
27.	Mapa geológico del departamento de Sacatepéquez	95
28.	Mapa de suelos del departamento de Sacatepéquez	96
29.	Capacidad de uso de la tierra de Sacatepéquez	98
30.	Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del departamento de Sacatepéquez	99
31.	Mapa de la clasificación climática de Sacatepéquez	100
32.	Temperatura mínima anual en grados Celsius	103
33.	Temperatura media anual en grados Celsius	103
34.	Temperatura máxima anual en grados Celsius	104
35.	Precipitación anual en milímetros	104

36.	Evaporación anual en milímetros	106
37.	Localización de las zonas de vida para Guatemala según Holdridge.....	107
38.	Tectónica de placas de Centroamérica	110
39.	Basurero de Ciudad Vieja	113
40.	Área recreativa de Ciudad Vieja.....	115
41.	Valor del impacto ambiental por factor ambiental	173
42.	Porcentaje de impactos ambientales por componente ambiental	174
43.	Significancia de los impactos ambientales	175
44.	Porcentaje de impactos por factor ambiental	175
45.	Tratamiento de aguas residuales	186

TABLAS

I.	Agua en la Tierra.....	6
II.	Uso del agua en el mundo	6
III.	Disponibilidad hídrica anual	8
IV.	Escala de valoración de la intensidad de los impactos	31
V.	Escala de valoración de la extensión de los impactos	32
VI.	Escala de valoración de la duración de los impactos	32
VII.	Escala de valoración de la reversibilidad de los impactos.....	33
VIII.	Escala de valoración del riesgo de ocurrencia de los impactos	34
IX.	Escala de significancia de los impactos ambientales	36
X.	Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo	47
XI.	Promedio de los parámetros que miden la calidad del agua en época lluviosa y seca de nueve puntos de muestreo	54
XII.	Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua de nueve puntos de muestreo	55

XIII.	Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua de cinco descargas de aguas residuales	55
XIV.	Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua de cuatro puntos sobre el río	56
XV.	Matriz de valoración de impactos ambientales	57
XVI.	Demanda bioquímica de oxígeno reportada durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo	61
XVII.	Grasas y aceites reportados durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo.....	63
XVIII.	Sólidos suspendidos reportados durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo	64
XIX.	Color reportado durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo	66
XX.	Nitrógeno total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	68
XXI.	Fósforo total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	69
XXII.	Coliformes fecales reportadas durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo	71
XXIII.	Arsénico reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	73
XXIV.	Cadmio reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	74
XXV.	Cobre reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	76
XXVI.	Mercurio reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	77
XXVII.	Níquel reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	78

XXVIII.	Plomo reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo	80
XXIX.	Zinc reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo	81
XXX.	Temperaturas mínimas en grados Celsius.....	101
XXXI.	Temperaturas medias en grados Celsius.....	102
XXXII.	Temperaturas máximas en grados Celsius	102
XXXIII.	Precipitación anual en milímetros	105
XXXIV.	Evaporación anual en milímetros	106
XXXV.	Impacto en aguas superficiales.....	122
XXXVI.	Impacto en aguas subterráneas.....	125
XXXVII.	Impacto en el suelo	128
XXXVIII.	Impacto en el aire.....	132
XXXIX.	Impacto en el olor.....	134
XL.	Impacto en árboles y hiervas	137
XLI.	Impacto en animales acuáticos	141
XLII.	Impacto en aves y animales terrestres.....	143
XLIII.	Impacto en insectos	146
XLIV.	Impacto en zonas de vida	149
XLV.	Impacto en áreas protegidas.....	152
XLVI.	Impacto en la salud	156
XLVII.	Impacto en el agua potable	158
XLVIII.	Impacto en la economía	162
XLIX.	Impacto en el suelo	164
L.	Impacto en el paisaje	167
LI.	Impacto en las áreas recreativas	169
LII.	Impacto en los centros turísticos y arqueológicos.....	172
LIII.	Número de impactos sobre los componentes ambientales	173

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
As	Arsénico
S	Azufre
C	Carbono
Co	Cobalto
Cu	Cobre
CO₂	Dióxido de carbono
DBO₅	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
P	Fósforo
°C	Grado Celsius
°F	Grado Fahrenheit
H	Hidrógeno
LMP	Límite máximo permisible
L	Litro
Hg	Mercurio
CH₄	Metano
mg	Miligramo
mmHg	Milímetros de mercurio
Ni	Níquel
N	Nitrógeno
NTK	Nitrógeno total Kjeldahl
NMP	Número más probable
O	Oxígeno

pH	Potencial de hidrógeno
Pt	Platino
Pb	Plomo
SS	Sólidos suspendidos
H₂S	Sulfuro de hidrógeno
U	Unidad
Zn	Zinc

GLOSARIO

Acidificación	Proceso químico que se manifiesta como resultado de un incremento de la concentración de iones hidronio (H ⁺) en determinados componentes del medio ambiente.
Aerobio	Organismo que necesita oxígeno para realizar sus funciones y subsistir.
Aguas residuales	Aguas resultantes de un proceso o actividad productiva cuya calidad se ha degradado, debido a la incorporación de elementos contaminantes.
Anaerobio	Organismo que no necesita oxígeno para realizar sus funciones y subsistir.
Antropogénico	Referido al efecto ambiental provocado por la acción del hombre.
Atmósfera	Capa gaseosa que está en contacto con la superficie terrestre.

Autorregenerar	Capacidad que tienen los ríos para mejorar su calidad por el movimiento de sus aguas y la oxigenación.
Bioacumulación	Retención progresiva de una sustancia en los tejidos de un organismo durante el periodo de su vida.
Calidad del agua	Se refiere a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas.
Carga contaminante	Cantidad de contaminante que se encuentra en los diferentes medios en una unidad de tiempo.
Clima	Conjunto de condiciones atmosféricas que dominan y alternan continuamente en una localidad.
Contaminación	Introducir en un entorno elementos tales que perjudiquen la salud, el bienestar o la seguridad del ecosistema y los individuos que habitan en él.

Contaminante	Sustancia química, biológica o radiológica que al encontrarse por encima de sus concentraciones normales en cualquier sistema ambiental, cambie su composición y condición natural.
Cuerpo receptor	Componente ambiental que recibe los aportes de carga contaminante generados por la actividad humana.
Descarga	Disposición o adición de desechos o aguas residuales a un cuerpo receptor.
Dilución	Proceso que consiste en agregar un volumen de agua con el propósito de disminuir la concentración en un efluente de aguas residuales.
Erosión	Desgaste del suelo por la acción antrópica, por el agua o por otros procesos que ponen en peligro su fertilidad.
Eutrofización	Proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la disponibilidad de oxígeno disuelto que requiere la fauna y flora.

Fertilizante	Sustancia cuyos elementos químicos permiten estimular el desarrollo de las plantas y estimular el contenido nutricional del suelo.
Hábitat	Lugar en donde viven los seres vivos.
Hidrosfera	Conjunto de capas líquidas que forman parte de la superficie terrestre.
Impacto ambiental	Repercusión en el medio ambiente provocado por la acción antrópica que genera consecuencias en él.
Materia orgánica	Conjunto de materiales vegetales y animales total o parcialmente descompuestos por la acción de microorganismos.
Metales pesados	Elementos de elevado peso atómico potencialmente tóxicos que se emplean en procesos industriales.
Microorganismos	Organismos microscópicos que pueden resultar perjudiciales o beneficiosos para el hombre.

Monitoreo	Proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de aguas residuales.
Muestra	Parte representativa a analizar de las aguas residuales.
Parámetro	Variable que identifica una característica de las aguas residuales asignándole un valor numérico.
Patógeno	Organismo o sustancia que causa enfermedades.
PMA	Plan de Manejo Ambiental
Sedimentación	Proceso de acumulación excesiva de sedimentos sueltos en zonas muy bajas.
VIA	Valor de impacto ambiental

RESUMEN

El presente informe final se realizó con base en el título *Verificación del cumplimiento del Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos de las aguas residuales de Ciudad Vieja, Sacatepéquez y estimación del impacto ambiental que tienen estas aguas sobre el río Guacalate.*

Se realizaron dos muestreos, uno en época lluviosa y otro en época seca, de cinco descargas puntuales de aguas residuales y de cuatro puntos directamente sobre el río. Los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de los parámetros demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), grasas y aceites, sólidos suspendidos, nitrógeno total, fósforo total, color y coliformes fecales, se realizaron en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” y en el Laboratorio Nacional de Salud. Los análisis de metales pesados se realizaron en la Unidad Instrumental de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos.

De los resultados obtenidos se determinó que los parámetros DBO₅, grasas y aceites, sólidos suspendidos, color y coliformes fecales no cumplen con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales (LMP)*, ya que sus valores sobrepasaron los límites máximos permisibles. Los parámetros, nitrógeno total y fósforo total se encontraron por debajo de los LMP, por lo tanto sí cumplen con el Reglamento. Los metales pesados se encontraron a nivel de trazas, teniendo valores menores que los LMP, por lo que estos no representan problemas para el ambiente y cumplen con el Reglamento.

En la estimación de impactos ambientales, se determinó que los factores afectados de forma significativa por la descarga de aguas residuales al río son las aguas superficiales y los animales acuáticos, mientras que los que tienen poca significancia son los árboles y hierbas, las áreas protegidas, las áreas recreativas y los sitios turísticos y arqueológicos. El 33 % de los impactos son poco significativos, el 56 % son medianamente significativos y el 11 % son significativos. El 28 % de los impactos afecta al medio físico, el 33 % al medio biológico y el 39 % al medio socioeconómico y cultural.

OBJETIVOS

General

Verificar el cumplimiento del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos de las aguas residuales* de Ciudad Vieja, Sacatepéquez y estimar el impacto ambiental que tienen estas aguas sobre el río Guacalate.

Específicos

1. Establecer los valores iniciales de los parámetros que determinan las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas residuales del municipio y del río Guacalate, según los resultados de laboratorio.
2. Determinar cuáles de los parámetros analizados cumplen con el *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos*.
3. Establecer una línea base de las condiciones ambientales actuales en el municipio de Ciudad Vieja, para tener un medio de comparación en estudios posteriores sobre los impactos que se generen en el medio por la actividad de descarga de aguas residuales al río.
4. Estimar el impacto ambiental que se genera sobre el río Guacalate y en el municipio de Ciudad Vieja por descargar las aguas residuales sin ningún tratamiento previo.

Hipótesis

Las aguas residuales de Ciudad Vieja, Sacatepéquez no cumplen con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* y generan impactos ambientales negativos significativos sobre el río Guacalate.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los componentes ambientales más importantes, ya que sin ella no existiría la vida. Esta ocupa tres cuartas partes del planeta y constituye el 70 % del peso de los organismos. El agua es de vital importancia para conservar la biodiversidad y mantener el equilibrio ecológico.

Los ríos han servido durante mucho tiempo como sumideros de los desechos humanos, pero, gracias al volumen y movimiento de sus aguas, han logrado autodepurarse. Sin embargo, con el aumento de los caudales de aguas residuales que se descargan a los ríos, la capacidad de regeneración de los mismos ha disminuido ocasionando impactos ambientales severos.

El agua, al ser utilizada, incorpora diversidad de elementos disueltos, suspendidos y coloidales que alteran las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas del líquido, modificando las condiciones de calidad y pureza.

Ciudad Vieja, Sacatepéquez es un municipio que tiene una extensión territorial de 51 km² y una densidad de población de 670 habitantes por kilómetro cuadrado. El crecimiento acelerado que se está experimentando en el municipio tiene implicaciones directas en el ambiente, especialmente en el recurso hídrico. Las aguas residuales de esta localidad son descargadas directamente al río Guacalate sin haber tenido ningún tratamiento previo, que constituya una medida de mitigación para ayudar a disminuir o controlar la contaminación de este cuerpo de agua. Esto tiene como consecuencia una mayor vulnerabilidad de la población a las enfermedades y a los desastres naturales por la alteración del equilibrio ecológico.

Debido al deterioro ambiental que están experimentando las aguas superficiales, y en general, muchos factores ambientales, en el presente estudio se verificará el cumplimiento del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* de las aguas residuales de Ciudad Vieja, Sacatepéquez, además, se estimarán los impactos ambientales que se generan sobre el río Guacalate y el municipio, por descargar dichas aguas sin ningún tratamiento previo.

1. ANTECEDENTES

La Constitución Política de la República de Guatemala, en el artículo 97, establece que el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo económico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. También, declara de interés nacional la conservación, protección y mejoramiento del patrimonio natural de la Nación. Dentro de este contexto, el Estado toma en cuenta la importancia de la protección del medio ambiente, los recursos naturales y culturales para el desarrollo sostenible del país, garantizar un ambiente propicio para el futuro y crear un marco institucional favorable para normalizar las acciones y políticas nacionales tendientes a prevenir el deterioro ecológico y la conservación de los recursos naturales.

En la *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*, Decreto 68-86, se establece que es fundamental para el logro del desarrollo social y económico del país, la protección y mejoramiento del medio ambiente de una forma sostenida. En el artículo 1 se indica que el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. En el capítulo II de la Ley se indican las medidas a seguir para preservar el sistema hídrico, teniendo principal interés en evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento, así como revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas, para que cumplan con las normas de higiene y de saneamiento ambiental.

Asimismo, mediante el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 de fecha 5 de mayo de 2006 fue aprobado el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, que en el artículo 5 indica: “La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público tendrán la obligación de preparar un estudio avalado por técnicos en la materia a efecto de caracterizar efluentes, descargas, aguas para reuso y lodos”.

Según los compromisos asumidos por el Estado de Guatemala, en el marco de la Agenda 21 (Cumbre de la Tierra, Brasil 1992), la Alianza Centroamericana para el Desarrollo Sostenible y Plan Nacional de Acción Ambiental, se establece la necesidad de planificar y ordenar integralmente el recurso hídrico, debido a que se está dando una destrucción gradual y una creciente contaminación del mismo.

En el municipio de Ciudad Vieja, Sacatepéquez no se ha realizado ningún estudio que determine las características de sus aguas residuales, para comparar los valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de estas aguas con los límites máximos permisibles estipulados en el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, por lo tanto tampoco se han determinado los impactos ambientales generados sobre el río Guacalate por la descarga de dichas aguas.

Sin embargo, se han realizado estudios sobre la calidad del agua de algunos ríos del país, como los siguientes.

En el 2002 Hayro García, cuantificó la calidad del agua del río Villalobos en época seca y lluviosa, en un periodo de 24 horas, 2 veces al mes, en un

punto previo a la entrada del Lago de Amatitlán. Las conclusiones a las que llegó son que existe una buena correlación entre las variables N/P, N/DQO, N/DBO, P/DQO y P/DBO en época seca y lluviosa. Además, en época seca el caudal es una variable inversamente proporcional hacia los contaminantes químicos, a excepción del nitrógeno y fósforo, y en la lluviosa el caudal actúa directamente sobre los parámetros físicos y químicos.

En el 2005, Hector Solís realizó un diagnóstico de las aguas servidas municipales sobre la calidad del agua del río San José, en la cabecera departamental de Chiquimula. Los resultados mostraron altos valores en la temperatura del agua, así como índices de demandas biológica y química de oxígeno que sobrepasan los límites permisibles. De la misma forma, la concentración de sales y la cantidad de sólidos se manifestó alta en todos los muestreos y la actividad microbiana manifestó un crecimiento masivo de enterobacterias.

En el 2006, Hoffman Castillo analizó la contaminación del agua de los ríos por los ingenios azucareros y su impacto en el medio ambiente, durante el tiempo de zafra o producción del azúcar en el municipio de Escuintla, departamento de Escuintla.

En el 2008, Norma Gil realizó una interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la microcuenca del río Villa Lobos, principal tributario del lago de Amatitlán. La investigación demostró que la entrada del río Villalobos al lago de Amatitlán es la principal fuente de contaminación del mismo, ya que todos los parámetros analizados demostraron niveles altos de compuestos químicos que contribuyen a degradar la calidad del agua del lago de Amatitlán.

En el 2008, la Dirección General de Investigación (Digi) de la Universidad de San Carlos de Guatemala realizó un informe sobre el impacto ambiental provocado por la contaminación de los ríos que cruzan el casco urbano de las cuatro cabeceras municipales del departamento de Santa Rosa ubicadas en la región sur de este departamento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El agua

El agua es el líquido vital que permite la vida en el planeta Tierra. El agua ocupa tres cuartas partes de la superficie del planeta; aunque solo aproximadamente el 2,5 % de esta agua es dulce y de ella un porcentaje muy elevado queda retenido en las grandes extensiones de hielo de las regiones polares. Por lo tanto, la cantidad aprovechable es muy pequeña.

La molécula de agua se compone de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Puede encontrarse en estado sólido, líquido y gaseoso. En estado sólido se encuentra en los glaciares y casquetes polares, en líquido en lagos, ríos, océanos y aguas subterráneas, y en gaseoso en las nubes como vapor de agua.

A la presión atmosférica (760 mmHg), el punto de ebullición del agua es de 100 °C (212 °F), el punto de congelamiento es 0 °C (32 °F) y su gravedad específica es de 1 000. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C (Castillo, 2006).

En la tabla I se indica la distribución del agua en el planeta, en donde se verifica que el porcentaje de aguas marinas supera el 97 % del total del agua. Al agotarse las reservas de agua dulce, el agua que tendremos que utilizar será el agua salada, lo que implicará costos muy elevados para la desalación de la misma (Auge, 2007).

Tabla I. **Agua en la Tierra**

	Area km² .10⁶	Volumen km³ .10⁶	%	Altura equivalente (m)
Océanos y mares	362	1.350	97,6	2.650
Casquetes polares	17	26	1,9	50
Subterránea	131	7	0,5	14
Superficial	1,5	0,3	0,02	0,6
del Suelo	131	0,2	0,01	0,4
Atmosférica	510	0,02	0,001	0,04
Total	510	1.383	100,03	2.715

Fuente: AUGE, Miguel. *Agua fuente de vida*. p. 4.

En la tabla II se muestran los usos que se le ha dado al agua en el mundo durante 100 años, y se observa que el agua que se ha utilizado en mayor porcentaje a lo largo de la historia ha servido para la agricultura (Auge, 2007).

Tabla II. **Uso del agua en el mundo**

año	Consumo total	Agricultura		Industria		Agua potable	
	km³/año	km³/a	(%)	km³/a	(%)	km³/a	(%)
1900	400	350	87,5	30	7,5	20	5
1950	1100	820	74,5	220	20	60	5,5
1975	3000	2200	73	650	22	150	5
2000	5000	3400	68	1250	25	350	7

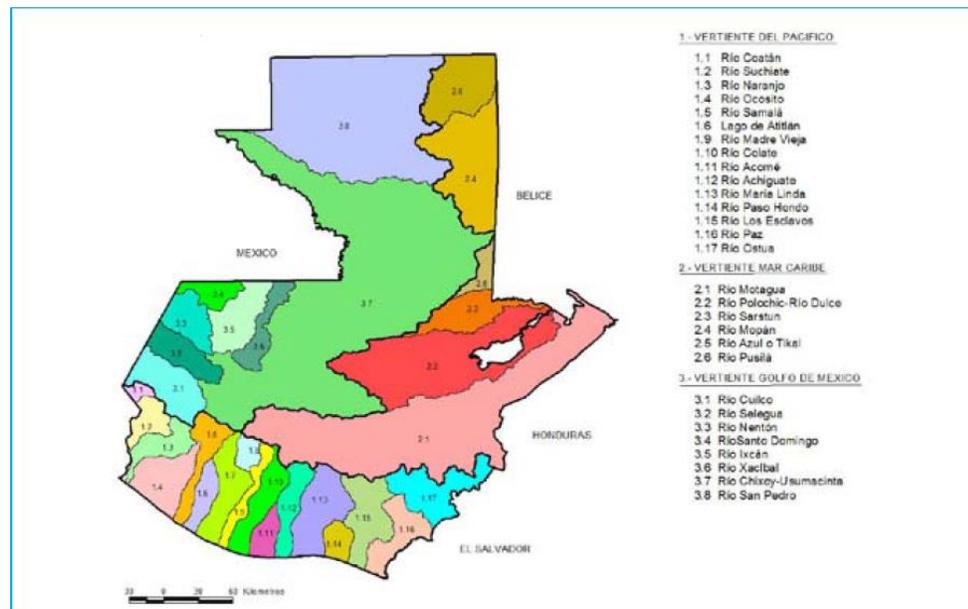
Fuente: AUGE, Miguel. *Agua fuente de vida*. p. 6.

2.2. Disponibilidad y distribución del recurso hídrico en Guatemala

Guatemala se encuentra en el tránsito de los vientos húmedos que se originan en el mar Caribe y océano Pacífico, y por su cercanía con las fuentes de humedad, la precipitación en el país es muy intensa en las laderas de las montañas. Como consecuencia de esto, el país cuenta con una cantidad significativa de agua que supera la demanda del recurso. La disponibilidad promedio anual de agua superficial y subterránea se calcula en 97 120 millones de metro cúbico (Jiménez, 2012).

Las fuentes superficiales de agua en el país están distribuidas en tres regiones hidrográficas, expresadas en 38 cuencas fluviales y 194 cuerpos de agua continentales (Jiménez, 2012).

Figura 1. Mapa de cuencas hidrográficas de Guatemala



Fuente: JIMÉNEZ, Blanca. *Diagnóstico del agua en las Américas*. p. 283.

En la tabla III se muestra la disponibilidad del agua anual a nivel nacional y por vertiente.

Tabla III. Disponibilidad hídrica anual

Vertientes	Área (km ²)	% área	Q Medio (m ³ /s)	Q (litros/s/km ²)	Población (2002)	% Hab.	Hab. /km ²	litros/habitante/día
Pacífico	23,990	22.0	728.47	31	5,897,817	52.5	245.8	10,897
Caribe	34,259	31.5	1,180.53	34	3,450,840	30.7	100.7	30,030
Golfo de México	50,640	46.5	1,297.63	26	1,888,539	16.8	37.3	60,225
Totales	108,889	100.0	3,206.63	29	11,237,196	100.0	103.2	25,116

Fuente: SEGEPLAN, 2007.

En el país se utiliza 9 596 millones de metros cúbicos de agua, el 53,6 % en usos consuntivos y el restante 46,4 % en no consuntivos. De ese total, la hidroelectricidad utiliza un 46,4 %; para consumo humano 8,7 %; en riego 38,2 %. Al tomar en cuenta solamente los usos consuntivos, el agua para consumo humano utiliza el 16,2 %, el riego el 76,9 % y la industria el 6.7%; los otros usuarios consumen el 0,2 % restante (Jiménez, 2012).

De toda el agua empleada en el país, se generan 1 540 millones de metros cúbicos de aguas residuales; en general, vertidas sin tratamiento a corrientes de agua superficial o cuerpos de agua (solo el 5 % son tratadas), por lo que automáticamente limitan o dificultan usos ulteriores. Adicionalmente, el 40 % del agua utilizada en el riego retorna a los ríos al infiltrarse (Jiménez, 2012).

Por la falta de tratamiento de las aguas residuales y por la incapacidad de las fuentes receptoras de diluir los contaminantes y autodepurarse por los

volúmenes tan grandes de aguas residuales vertidos a las mismas, las aguas superficiales de Guatemala se consideran de baja calidad.

2.3. Ciclo hidrológico

La hidrósfera está formada por los mares, ríos, lagos, aguas subterráneas, casquetes polares y glaciares que rodean la Tierra. El agua es un sistema vivo, abierto y dinámico, intercambia materia y energía con su entorno y cambia de estado continuamente. La energía del sol y la gravedad son los motores de este circuito que se conoce como ciclo hidrológico.

Figura 2. **Ciclo hidrológico**



Fuente: *Ciclo hidrológico*. <https://www.google.com.gt/planeta-agua/ciclo-del-agua>. Consulta: mayo de 2014.

La radiación solar permite que el agua presente en las grandes masas de agua, como ríos, lagos y océanos, se transforme en vapor de agua, el cual asciende a capas más altas de la atmósfera. Cuando el vapor de agua llega a

alturas muy grandes, la temperatura disminuye drásticamente haciendo que este se condense y precipite. Al caer el agua en el suelo, esta escurre para llegar a los ríos y mares, y una parte se infiltra en el suelo, recargando los mantos acuíferos. Las plantas se encargan de absorber el agua del suelo a través de sus raíces, transportándola hasta sus hojas y evaporándola en el proceso conocido como evapotranspiración. El agua que regresa a los océanos se evapora por el calor del sol y el ciclo continúa.

2.4. Clasificación de los cuerpos de agua

Todos los cuerpos de agua están interconectados, desde la atmósfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico. Se clasifican principalmente en ríos, lagos y aguas subterráneas, difiriendo todos en la velocidad promedio del flujo.

2.4.1. Ríos

Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, los ríos son cuerpos de agua que pueden considerarse permanentemente mezclados y, en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo (Sierra, 2011).

2.4.2. Lagos

En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja: varía entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie). Este hecho hace que el

agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los periodos de estratificación (Sierra, 2011).

2.4.3. Aguas subterráneas

En los acuíferos, el régimen de flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección. Las velocidades promedio pueden variar entre 10^{-10} y 10^{-3} m/s, son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato. La dinámica del agua en los acuíferos es bastante complicada.

Como se puede observar, la variedad de regímenes hidráulicos que se presentan en los distintos cuerpos de agua hace que estén caracterizados por su tamaño y las condiciones climáticas de la cuenca. El factor que caracteriza a los ríos es la variabilidad del caudal; en los lagos lo más importante es el tiempo de residencia (estado trófico) y su régimen térmico; mientras que en las aguas subterráneas importa altamente el grado de saturación del suelo.

2.5. Calidad del agua

Depende esencialmente de su composición física, química y biológica, en su estado natural o después de haber sido utilizada por el ser humano. Los criterios de calidad dependerán de los usos que se le quiera dar al agua, por ejemplo para consumo humano, agricultura, recreación, industria, disposición a cuerpos de agua, entre otros.

Con el crecimiento de la población, el desarrollo industrial y agropecuario, y el uso del agua para diversos fines, el agotamiento y deterioro del recurso hídrico ha sido inminente. Los límites tolerables de las diversas sustancias

contenidas en el agua son normadas por instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y por los gobiernos nacionales. (Enciclopedia Microsoft Encarta, 2007).

2.6. Aguas residuales

Se define como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. Esta lleva un alto contenido de materia orgánica, también puede llevar contaminantes de las actividades agrícolas y ganaderas, como sedimentos de la erosión de las tierras de cultivo, compuestos de fósforo y nitrógeno provenientes de fertilizantes y residuos animales; y en las áreas industriales pueden haber contaminantes de origen químico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales (Castillo, 2006).

2.7. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Sirven para determinar la calidad de las aguas superficiales y así poder establecer los métodos de tratamiento adecuados para erradicar la contaminación y deterioro de los cuerpos de agua.

2.7.1. Análisis físico

Incluye las propiedades organolépticas de las aguas, es decir, las que se pueden percibir por los sentidos. Estas características son las que más impresionan al consumidor pero que tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario.

2.7.1.1. Color

Se debe principalmente a la presencia de materia orgánica y al vertimiento de desechos industriales. El color verdadero del agua se debe a la presencia de materiales en solución, pero puede cambiar a un color aparente por el efecto de partículas que están en suspensión. El color se expresa en unidades platino-cobalto (U Pt-Co) (Sierra, 2011).

2.7.1.2. Olor

Esta característica física se debe a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles, algunas de las cuales se producen cuando se descompone la materia orgánica. La intensidad y lo ofensivo de los olores varía con el tipo; algunas son a tierra y moho mientras que otros son putrefactos. En la mayoría de los casos, los olores indeseables en las aguas superficiales son producidos por el plancton, dado que estos organismos desprenden pequeños vestigios de aceites esenciales volátiles que contribuyen a que el agua tenga olores dulzones y aromáticos (Ramos, 2006).

Específicamente, la sustancia que produce olores en la descomposición de la materia orgánica es el sulfuro de hidrógeno. No existen instrumentos para determinar los olores en el agua; generalmente estos se reportan en los análisis de aguas como presentes o no presentes.

2.7.1.3. Temperatura

Termodinámicamente se considera como una medida de la energía térmica del movimiento desordenado de las moléculas en una sustancia en

equilibrio térmico. La temperatura afecta directamente al consumidor, pero no es de gran importancia.

La temperatura afecta a los procesos fisicoquímicos y biológicos que se llevan a cabo en el agua, ya que mientras mayor sea esta, menor es el contenido de oxígeno disuelto, alterando de esta manera el ecosistema acuático (Brugnoli, 1999).

2.7.1.4. Sólidos totales

Son las partículas de todos los tamaños presentes en el agua que pueden proceder de la materia orgánica, del arrastre de sedimentos por la escorrentía y de desechos sólidos vertidos en el agua. El término sólidos totales se aplica al material que queda en el recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y de su secado subsecuente en un horno a una temperatura definida (103–105 °C). Los sólidos totales incluyen los sólidos totales disueltos, es decir aquella proporción de los sólidos totales que pasan a través de un filtro y son secados en un horno a una temperatura definida (180 °C), así como los sólidos totales suspendidos, esto es, aquella porción de sólidos que se retienen por un filtro (APHA, 1995).

Los sólidos sedimentables representan los compuestos sólidos que por su peso pueden sedimentarse cuando el agua de la muestra se deja en reposo, los cuales provienen de las aguas de superficies y salinas, así como de los residuos domésticos e industriales (APHA, 1995).

2.7.2. Análisis químico

Determina principalmente la cantidad de materia orgánica presente en el agua, lo cual define la calidad de los cuerpos de agua. También, es importante el análisis de compuestos derivados del fósforo y nitrógeno para determinar los posibles problemas de eutrofización que se den en el recurso hídrico.

2.7.2.1. Oxígeno disuelto

La difusión del oxígeno en las aguas se da por su movimiento y circulación. Constituye uno de los indicadores de calidad del agua más importantes, ya que es determinante para conservar los ecosistemas acuáticos. Cuando este compuesto escasea, se dan muchos problemas ambientales, como la eutrofización y muerte de animales y vegetales acuáticos (Franco, 2008).

2.7.2.2. Grasas y aceites

El término grasa se aplica a una amplia variedad de sustancias orgánicas que se extraen de soluciones acuosas o en suspensión. La extracción de estas sustancias se hace en el laboratorio utilizando hexano, ya que es un buen solvente para ellas. Generalmente, se pueden considerar grasas a compuestos como los hidrocarburos, ésteres, aceites, ceras y ácidos grasos de alto peso molecular (Sierra, 2011).

Las grasas son generadas o llegan al agua por actividades antropogénicas. Su presencia y medición están relacionadas principalmente con actividades que tienen que ver con el manejo de aguas residuales. Las grasas obstruyen las tuberías y representan problemas en la operación de las plantas

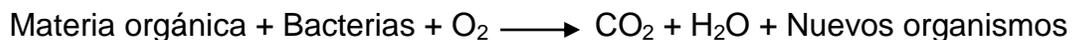
de tratamiento de aguas residuales. En aguas naturales, la presencia de grasas inhibe el paso de la luz y del oxígeno disuelto en el agua.

2.7.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica, a través de la acción de bacterias a 20 °C durante un período de incubación de 5 días.

La DBO₅ se utiliza para medir el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica, dimensionar plantas de tratamiento de aguas residuales, medir la eficiencia de procesos de tratamiento biológico y el grado de polución de los cuerpos de agua (Gil, 2008).

Durante el proceso de desoxigenación o estabilización de la materia orgánica, el consumo de oxígeno está descrito por la ecuación:

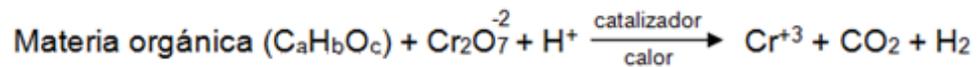


2.7.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua. A diferencia de la DBO₅, en esta prueba la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química en lugar de microorganismos. (Sierra, 2011)

El dicromato de potasio constituye actualmente el mejor agente oxidante para la determinación de la DQO. Este compuesto tiene la capacidad de oxidar la gran mayoría de sustancias orgánicas, además, es fácil de determinar su

concentración antes y después de la prueba, lo cual hace que se pueda calcular el oxígeno consumido. Otra de las ventajas de la DQO es el poco tiempo de duración de la prueba. La reacción química para la determinación es:



Los valores de la DQO son mayores que la DBO₅ y la diferencia aumenta con la presencia de sustancias tóxicas que hagan la muestra de agua biológicamente resistente a la degradación.

2.7.2.5. Nitrógeno (N)

Es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual recibe el nombre de nutriente o bioestimulador. Debido a que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer los datos sobre la presencia del mismo en las aguas y en qué cantidades, para valorar la posibilidad del tratamiento de las aguas residuales mediante los procesos biológicos (Sierra, 2011).

El nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. La prueba más común de determinación del nitrógeno es el Kjeldahl (NTK). El NTK determina la concentración de nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal.

El nitrato es reducido a nitrito en condiciones anaeróbicas y el nitrito puede ser oxidado a nitrato. Ambas especies, son incluidas para las determinaciones de calidad del agua para consumo humano y detección de impactos orgánicos o de origen industrial. Elevadas concentraciones de nitrato pueden indicar contaminación orgánica o efectos de fertilizantes, así como, altas

concentraciones de nitrito indican la presencia de efluentes industriales y baja calidad de agua (Brugnoli, 1999).

2.7.2.6. Fósforo (P)

Es utilizado por los organismos para la transferencia de energía dentro de la célula, para algunos sistemas enzimáticos y para otras funciones celulares. Este se encuentra en varias formas en los sistemas acuáticos siendo los más importantes: fósforo inorgánico soluble, fósforo orgánico soluble y fósforo orgánico en partículas (Franco, 2008).

El fósforo es un nutriente necesario para el metabolismo celular, además de ser el elemento biogénico más importante y, aunque es el menos abundante, es el factor más limitante en la productividad primaria. Los ortofosfatos son la forma más importante de fósforo en el agua debido a que se encuentran disueltos en ella y de esta manera son aprovechados por las plantas (Franco, 2008).

2.7.3. Análisis bacteriológico

Las aguas crudas pueden tener una gran variedad de microorganismos. Los microorganismos en el agua pueden ser patógenos o no patógenos. Por patógenos se entienden aquellos organismos que causan enfermedades a los seres vivos, mientras que los no patógenos no causan enfermedades.

2.7.3.1. Coliformes fecales

Los organismos del grupo de los coliformes son los mejores indicadores de la presencia de seres patogénicos. Las bacterias coliformes fecales crecen a

una temperatura de 44 a 44,5 °C y producen indol. Se encuentran en el excremento humano y de otros animales de sangre caliente. Entre estas bacterias están los géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebssiella*, *Yersinia* y *Serratia* (OMS, 2003).

La prueba estándar para la determinación de coliformes fecales es por medio de la técnica de fermentación de tubos múltiples, llamada número más probable (NMP). Este número está basado en determinadas fórmulas de probabilidad, es un cálculo de la densidad media de coliformes en la muestra (Gil, 2008).

2.7.4. Análisis de metales pesados

Los metales pesados tienen la característica de ser tóxicos y de bioacumularse en los tejidos grasos y musculares de los organismos en la cadena alimenticia. Su densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Algunos metales son indispensables en bajas concentraciones, ya que forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, cinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina (Gil, 2008).

2.7.4.1. Arsénico (As)

Es un elemento distribuido extensamente por toda la corteza terrestre, en su mayoría en forma de sulfuro de arsénico o de arseniatos y arseniuros metálicos. Los compuestos de arsénico se utilizan comercialmente y en la industria, principalmente como agentes de aleación en la fabricación de transistores, láseres y semiconductores. La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales y menas de origen natural (OMS, 2003).

Excepto en las personas expuestas al arsénico por motivos laborales, la vía de exposición más importante es la vía oral, por el consumo de alimentos y bebidas. En ciertas regiones, las fuentes de agua de consumo, particularmente las aguas subterráneas, pueden contener concentraciones altas de arsénico. En algunas zonas, el arsénico del agua de consumo afecta significativamente a la salud, y el arsénico se considera una sustancia a la que debe darse una prioridad alta en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo. Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo (OMS, 2003).

2.7.4.2. Cadmio (Cd)

Es un metal que se utiliza en la industria del acero y en los plásticos. Los compuestos de cadmio son un componente muy utilizado en pilas eléctricas. El cadmio se libera al medio ambiente en las aguas residuales, los fertilizantes y la contaminación aérea local producen contaminación difusa. Las impurezas de cinc de las soldaduras y las tuberías galvanizadas y algunos accesorios de fontanería metálicos también pueden contaminar el agua de consumo. La principal fuente de exposición diaria al cadmio son los alimentos. El consumo de tabaco es una fuente adicional significativa de exposición al cadmio (OMS, 2003).

2.7.4.3. Cobre (Cu)

Es un nutriente esencial y, al mismo tiempo, un contaminante del agua de consumo. Tiene muchos usos comerciales: se utiliza para fabricar tuberías, válvulas y accesorios de fontanería, así como en aleaciones y revestimientos. En ocasiones se añade sulfato de cobre pentahidratado a las aguas superficiales para el control de algas. Las concentraciones de cobre en el agua

de consumo varían mucho y la fuente principal más frecuente es la corrosión de tuberías de cobre interiores.

Las concentraciones suelen ser bajas en muestras de agua corriente o que se ha dejado correr prolongadamente, mientras que en muestras de agua retenida o que se ha dejado correr poco tiempo son más variables y suelen ser considerablemente más altas. La concentración de cobre en el agua tratada suele aumentar durante su distribución, sobre todo en sistemas con pH ácido o en aguas con concentración alta de carbonato, con pH alcalino. Las fuentes principales de exposición al cobre en los países desarrollados son los alimentos y el agua (OMS, 2003).

2.7.4.4. Mercurio (Hg)

Es un metal que se acumula en los tejidos de los seres humanos, peces y animales, hasta alcanzar un nivel tóxico. Los consumidores de organismos contaminados por mercurio pueden acumular el metal hasta niveles tóxicos, aun en lugares donde las concentraciones de mercurio en el agua son apenas detectables.

El mercurio proviene de procesos industriales, de la actividad minera, de la quema de combustibles fósiles y de la incineración de desechos municipales y hospitalarios. Los efectos a la salud que pueden darse por la ingestión o exposición al mercurio son: daño al sistema nervioso, a las funciones cerebrales, al ADN y cromosomas, reacciones alérgicas, mutaciones, abortos, entre otros (Orjuela, 2010).

2.7.4.5. Níquel (Ni)

El níquel se utiliza principalmente en la producción de acero inoxidable y de aleaciones de níquel. Los alimentos son la principal fuente de exposición al níquel en personas no fumadoras y no expuestas por motivos laborales; la contribución del agua a la ingesta diaria total por vía oral es poco importante (OMS, 2003).

En lugares con gran contaminación, en zonas con movilización de níquel de origen natural, en aguas subterráneas o donde se utilizan ciertos tipos de recipientes para hervir agua, materiales no resistentes en pozos o agua que haya estado en contacto con grifos recubiertos de níquel o cromo, la contribución del agua a la ingesta de níquel podría ser significativa (OMS, 2003).

2.7.4.6. Plomo (Pb)

Se utiliza principalmente en soldaduras, aleaciones y baterías de plomo. Además, los compuestos de plomo orgánicos tetraetilo y tetrametilo de plomo se han utilizado también mucho como agentes lubricantes y antidetonantes en la gasolina, aunque en muchos países se está abandonando su uso para estos fines. Debido a la disminución del uso de aditivos con plomo en la gasolina y de soldaduras con plomo en la industria alimentaria sus concentraciones en el aire y los alimentos están disminuyendo, y es mayor la proporción de la ingesta por el agua de consumo respecto de la ingesta total.

El plomo que se encuentra en el agua de grifo rara vez procede de la disolución de fuentes naturales, sino que proviene principalmente de instalaciones de fontanería domésticas que contienen plomo en las tuberías, las

soldaduras, los accesorios o las conexiones de servicio a las casas. La cantidad de plomo que se disuelve de las instalaciones de fontanería depende de varios factores como el pH, la temperatura, la dureza del agua y el tiempo de permanencia del agua en la instalación. El plomo es más soluble en aguas blandas y ácidas (OMS, 2003).

2.8. El medio ambiente

El ambiente es el conjunto de factores abióticos (agua, aire y suelo) y bióticos (organismos vivos) que integran la delgada capa de la Tierra, llamada biósfera, sustento y hogar de los seres vivos. Lo constituye la hidrósfera, que permite el equilibrio entre ecosistemas, la atmósfera, que protege a la tierra del exceso de radiación ultravioleta y permite la existencia de vida; el suelo es el delgado manto de materia que sustenta la vida terrestre.

2.8.1. Elementos del ambiente

El ambiente está constituido tanto por elementos físicos como biológicos, que no se encuentran de forma aislada, sino que interactúan entre sí para subsistir.

2.8.1.1. Elementos físicos

- Energía

Es uno de los elementos físicos más importantes debido a que por ella se llevan a cabo todos los procesos en la Tierra, como permitir el ciclo hidrológico, la fotosíntesis en las plantas, mantener la Tierra a una temperatura apta para la vida, entre otros. Esta energía proviene del sol.

- Agua

Es una molécula formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Se encuentra en estados líquido, sólido y gaseoso. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0 °C y su punto de ebullición de 100 °C.

- Aire

Es una mezcla gaseosa de elementos esenciales para la vida. Entre los gases que lo conforman se encuentra el N₂, O₂, argón, vapor de agua, CO₂, entre otros. El movimiento del aire es lo que se le denomina viento, que redistribuye los componentes de la atmósfera y también puede desplazar la contaminación.

- Suelo

Es la capa delgada en donde habitan los animales terrestres y el hombre. Se formó durante miles de millones de años por la acción del clima, de los seres vivos y de las rocas. Las múltiples transformaciones físicas y químicas que el suelo sufre en su proceso de formación llevan a los productos finales: arcillas, hidróxidos, ácidos húmicos, entre otros.

2.8.1.2. Elementos biológicos

- Plantas

Son los organismos autótrofos que convierten la energía del sol en energía química por medio del proceso de fotosíntesis. Son los primeros

eslabones en la cadena alimenticia y participan en el ciclo hidrológico, en el proceso de evapotranspiración, durante el cual absorben agua del suelo a través de sus raíces y la conducen hasta sus hojas evaporándola.

- **Animales**

Los animales son organismos heterótrofos que necesitan de las plantas para alimentarse. Existe una gran variedad en el planeta e incluyen al ser humano.

2.8.2. La contaminación del agua

La contaminación del agua se da por la incorporación de materias extrañas a la misma, como aguas residuales, desechos de la agricultura y ganadería, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

En Guatemala, el 95 % de las aguas residuales se descargan directamente a los ríos sin haber sido tratadas, ocasionando problemas ambientales serios y para la salud de las personas. Además, la contaminación producida por las aguas residuales destruye los peces de agua dulce, una importante fuente de alimentos, y favorece la proliferación de algas nocivas en zonas costeras.

Desde la revolución industrial, el ambiente ha sufrido las consecuencias del uso excesivo de sustancias químicas que muchas veces son tóxicas para los organismos, causando degradación de los componentes ambientales.

Además, el crecimiento demográfico y el uso excesivo de plaguicidas e insecticidas generan impactos negativos sobre el ambiente.

La contaminación del agua en las distintas cuencas de Guatemala se debe a fuentes puntuales (aguas residuales domésticas, industriales y agroindustriales) y no puntuales (erosión del suelo con agroquímicos durante los eventos de precipitación y escorrentía). Debido a que solo el 5 % de las aguas residuales del país son tratadas, los cuerpos receptores de dichas aguas se contaminan y se limita su uso (Jiménez, 2012).

La contaminación limita los usos productivos aguas abajo y su control es factor decisivo en las políticas de reducción de la pobreza, especialmente para la reducción de índices de mortalidad, y no contribuye a mejorar las condiciones competitivas del país (Jiménez, 2012).

Algunos de los contaminantes más habituales son:

- Nutrientes

Son los elementos esenciales para el crecimiento de plantas acuáticas. Entre los principales nutrientes están el fósforo y nitrógeno. Estos, al presentarse en concentraciones elevadas, aumentan el crecimiento excesivo de dichas plantas, fenómeno conocido como eutrofización. La descomposición de las plantas ocasiona el consumo de oxígeno, provocando que este disminuya en el agua, afectando su calidad y, como consecuencia, la vida acuática.

- Patógenos

Son microorganismos como bacterias, virus, protozoos, entre otros, que están presentes en el agua, principalmente por la materia orgánica que se descarga a la misma.

- Productos químicos

Estos incluyen pesticidas, insecticidas, diversos productos industriales, sustancias tensoactivas contenidas en los detergentes y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.

- Sedimentos o materia suspendida

Pueden ser partículas provenientes de la erosión o materiales que llevan las aguas residuales. Estos aumentan la turbidez del agua y disminuyen la penetración de la luz, por lo que las plantas ya no pueden realizar el proceso de fotosíntesis.

- Metales pesados

Los metales pesados presentes en concentraciones elevadas tienen un alto grado de toxicidad. Estos generalmente se bioacumulan, pasando de un organismo a otro en la cadena alimenticia y afectando la salud de los seres vivos.

2.8.3. Principales problemas en aguas superficiales

Los problemas más frecuentes provocados por la contaminación del agua son:

- Reducción de los niveles de oxígeno disuelto en el agua

Cuando las aguas superficiales tienen altas concentraciones de materia orgánica, estas provocan que aumente la turbidez del agua, al igual que los sólidos suspendidos, provocando que disminuya el proceso de fotosíntesis que realizan las plantas acuáticas, con la consecuente reducción de oxígeno disuelto en el agua. Además, los nutrientes, como fósforo y nitrógeno presentes en los desechos orgánicos y en pesticidas, hacen que proliferen las algas y cuando estas mueren, los microorganismos descomponedores agotan el oxígeno presente en el agua para su degradación.

- Eutrofización

Ocurre cuando aumentan los nutrientes como fósforo y nitrógeno en el agua, a causa de la cantidad de materia orgánica vertida a los cuerpos de agua y al arrastre de fertilizantes por la escorrentía. Estos nutrientes permiten el crecimiento masivo de algas, agotando el oxígeno disuelto durante su degradación. Esto tiene como consecuencia la generación de malos olores y que la calidad del agua superficial sea baja.

- Disminución de la biodiversidad

Los problemas anteriormente mencionados, disminución de oxígeno y eutrofización, ocasionan la muerte de especies animales y vegetales acuáticas cuando se da a niveles altos.

- Aumento de sedimentos

Los sedimentos que generalmente se quedan en las orillas de ríos y lagos, o en el fondo de los mismos, pueden presentar sustancias tóxicas, químicos, metales pesados y materia orgánica. Cuando se hace el dragado de los sedimentos, puede ponerse en riesgo la salud de las personas que están en contacto con estos.

- Acidificación de aguas superficiales

La acidificación de ríos y lagos sucede principalmente por la lluvia ácida que se genera como consecuencia de la reacción que se lleva a cabo entre el vapor de agua y los óxidos de nitrógeno y azufre. Este problema se da con mayor frecuencia en países industrializados (Moneris y Marzal).

- Bioacumulación

Cuando las aguas superficiales contienen sustancias tóxicas y metales pesados, los organismos acuáticos los ingieren y quedan retenidos en sus músculos y tejidos grasos, transmitiéndolos a los demás organismos de la cadena alimenticia. El hombre como último eslabón de esta, está expuesto a enfermedades e incluso la muerte (Moneris y Marzal).

- Transmisión de enfermedades

Las personas que están en contacto con las aguas superficiales tienen un alto riesgo de contraer enfermedades como diarrea, cólera, poliomielitis, hepatitis, fiebre tifoidea, entre otros, por la alta cantidad de agentes infecciosos presentes. Además, las moscas y mosquitos que generalmente se encuentran en las cercanías de las aguas superficiales también son transmisores de enfermedades.

2.9. Estimación de impactos ambientales

La estimación de impactos ambientales tiene por objeto predecir, identificar, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales generados por la actividad humana.

2.9.1. Descripción del medio

La descripción de las condiciones ambientales del área de influencia de las descargas de aguas residuales, llamada también línea base, permite obtener la información básica que posibilitará desarrollar un soporte en el cual se sustentará las siguientes etapas del procedimiento.

2.9.2. Factores ambientales

Son los diversos componentes del medio ambiente entre los cuales se desarrolla la vida en nuestro planeta. Son el soporte de toda actividad humana. Entre ellos se encuentran: agua, aire, suelo, flora, fauna, paisaje, economía, cultura, entre otros (Conesa, 2000).

2.9.3. Impacto ambiental

Se produce un impacto ambiental cuando una acción o actividad genera una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio (Conesa, 2000).

2.9.3.1. Calificación de los impactos ambientales

Los parámetros para la calificación de importancia son los siguientes:

- **Carácter:** establece si el cambio que se generará en los factores ambientales al realizar la acción es beneficioso (+) o perjudicial (-).
- **Intensidad (I):** se refiere al grado con el que un impacto altera a un determinado elemento del ambiente, por lo tanto está en relación con la fragilidad y sensibilidad de dicho elemento.

Tabla IV. **Escala de valoración de la intensidad de los impactos**

Intensidad	Valoración
Baja	1-3
Media	4-6
Alta	7-10

Fuente: CORBITT, Robert. *Escala de valoración de la intensidad de los impactos*. p. 30.

- **Extensión (E):** se refiere al área de influencia del impacto generado por la acción realizada, la cual puede ser puntual si se genera en el lugar en donde se produce la acción, local si se extiende a áreas cercanas y

regional si los impactos van más allá del lugar en donde se produce la acción.

Tabla V. **Escala de valoración de la extensión de los impactos**

Extensión	Valoración
Puntual	1-3
Local	4-6
Regional	7-10

Fuente: CORBITT, Robert. *Escala de valoración de la intensidad de los impactos*. p. 32.

- Duración (D): se refiere al tiempo que permanecerá el efecto de la actividad realizada sobre el componente ambiental analizado.

Tabla VI. **Escala de valoración de la duración de los impactos**

Duración (Años)	Plazo	Valoración
0-5	Corta	1-3
5-10	Media	4-6
> 10	Larga	7-10

Fuente: CORBITT, Robert. *Escala de valoración de la intensidad de los impactos*. p. 34.

- Magnitud (M): es el indicador que sintetiza la intensidad, extensión y duración de los impactos que se producen. Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$M = +/- [(I_i * W_I) + (E_i * W_E) + (D_i * W_D)]$$

Donde:

M = magnitud

I = intensidad

E = extensión

W_I = peso para el criterio intensidad

W_E = peso para el criterio extensión

W_D = peso para el criterio duración

Los valores para los pesos corresponden a:

$$W_I = 0,40$$

$$W_E = 0,40$$

$$W_D = 0,20$$

- Reversibilidad (R): considera la capacidad del sistema de retornar a una situación de equilibrio similar o equivalente a la inicial, al cesar la actividad. Puede ser reversible, parcialmente reversible o irreversible.

Tabla VII. **Escala de valoración de la reversibilidad de los impactos**

Categoría	Capacidad de reversibilidad	Valoración
Reversible	Alta. Impacto reversible de forma inmediata o a corto plazo.	1-3

Continuación de la tabla VII.

Parcialmente reversible	Media. Impacto reversible a largo y mediano plazo.	4-6
Irreversible	El impacto puede ser recuperable a muy largo plazo (> 30 años)	7-9
	Baja o irrecuperable	10

Fuente: CORBITT, Robert. *Escala de valoración de la intensidad de los impactos*. p. 33.

- Riesgo (RG): se refiere a la probabilidad de ocurrencia del efecto sobre la globalidad de los componentes. Se valora según la escala indicada en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Escala de valoración del riesgo de ocurrencia de los impactos**

Riesgo	Rango de ocurrencia	Valoración
Bajo	Si el impacto tiene una probabilidad de ocurrencia casi nula en un rango entre 0 y 10 %	1-3
Medio	Si el impacto tiene una probabilidad de ocurrencia entre 10 y 50%	4-6
Alto	Si el impacto tiene una probabilidad de ocurrencia mayor a 50 %	7-10

Fuente: CORBITT, Robert. *Escala de valoración de la intensidad de los impactos*. p. 33.

- Valor del impacto ambiental (VIA): para el cálculo del valor del impacto ambiental (VIA) se deben obtener los valores de magnitud, reversibilidad y riesgo, y se usa la siguiente expresión matemática:

$$VIA = (R_i^{WR} \times RG_i^{WRG} \times |M_i|^{WM})$$

Donde:

R = reversibilidad

RG = riesgo

M = magnitud

WR = peso para el criterio reversibilidad

WRG = peso para el criterio riesgo

WM = peso para el criterio magnitud

Los valores para los pesos son:

$$W_R = 0,30$$

$$W_{RG} = 0,30$$

$$W_M = 0,40$$

2.9.3.2. Significancia de los impactos ambientales

Se determina basándose en el valor del impacto ambiental (VIA) según la escala de la tabla IX.

Tabla IX. **Escala de significancia de los impactos ambientales**

VIA	Significancia
< 2,0	No significativo
2,0 – 4,0	Poco significativo
4,0 – 6,0	Medianamente significativo
6,0 – 8,0	Significativo
> 8,0	Muy significativo

Fuente: CORBITT, Robert. *Escala de valoración de la intensidad de los impactos*. p. 34.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables a tomar en cuenta en este trabajo son:

- DQO
- DBO₅
- Grasas y aceites
- Sólidos suspendidos
- Color
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Coliformes fecales
- Arsénico
- Cadmio
- Cobre
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc

3.2. Delimitación del campo de estudio

El estudio se realizó en el río Guacalate dentro de la jurisdicción del municipio de Ciudad Vieja del departamento de Sacatepéquez y en el municipio en general.

3.3. Recursos humanos disponibles

La toma de muestras se llevó a cabo por la epesista y se necesitó la ayuda de trabajadores del Departamento de Planificación Municipal de la Municipalidad de Ciudad Vieja, para acceder a sitios difíciles de toma de muestras. También fue necesaria la guía del encargado en la Municipalidad, el ingeniero Julio Héctor Martínez Ordóñez y del asesor del informe final, el ingeniero Ribelino Santos.

3.4. Recursos materiales disponibles

- *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*
- Laboratorio de Química y Microbiología “Dra. Alba Tabarini Molina”, Laboratorio Nacional de Salud y Unidad Instrumental de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos.
- Instalaciones, equipo de computación y vehículos de la Municipalidad de Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Para realizar el estudio se utilizaron técnicas cuantitativas al calcular los valores estadísticos de los parámetros que miden la calidad del agua y para ponderar los impactos que se generan sobre los componentes ambientales. También se usaron técnicas cualitativas para caracterizar al municipio y describir los impactos causados por la descarga de aguas residuales al río.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para la realización de esta investigación se ha llevado a cabo la recolección y recolección de la información obtenida.

3.6.1. Realización de la línea base del municipio

Se realizó la caracterización del municipio poniendo principal interés en aspectos como la localización, la ubicación geográfica, demografía, características climáticas y clasificación ecológica. Con información bibliográfica y visitas de campo, se estableció la línea base de las condiciones ambientales actuales del área de estudio.

3.6.2. Selección del área de muestreo

Se definieron los puntos de muestreo a lo largo del río Guacalate, dentro de la jurisdicción del municipio de Ciudad Vieja, del departamento de Sacatepéquez, considerando las características hidrográficas del lugar y por la proximidad de fuentes puntuales de contaminación.

3.6.3. Periodicidad de muestreo

Los muestreos se realizaron dos veces en época lluviosa y dos veces en época seca, para los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, y una vez en época seca para los análisis de metales pesados.

3.6.4. Recolección de muestras

Las muestras se tomaron siguiendo los lineamientos del Laboratorio de Química y Microbiología “Dra. Alba Tabarini Molina”, del Laboratorio Nacional de Salud y de la Unidad Instrumental de la Escuela de Química.

3.6.5. Determinación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos se realizó en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina”, en el Laboratorio Nacional de Salud y en la Unidad Instrumental de la Escuela de Química.

3.6.6. Revisión del marco legal

Se verificó el cumplimiento que tienen las aguas residuales de Ciudad Vieja con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, comparando los resultados de los análisis proporcionados por los laboratorios con los valores establecidos en el Reglamento.

3.6.7. Estimación del impacto ambiental

Para estimar los impactos ambientales que se generan sobre el río y en el municipio por la descarga de aguas residuales, se utilizó la metodología de criterios relevantes integrados (CRI), la cual permitió evaluar características como intensidad, extensión, duración, magnitud, reversibilidad y riesgo del impacto, así como el valor del impacto ambiental (VIA) y significancia del mismo.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, se hizo una base de datos para cada parámetro y por punto de muestreo. Se describieron los resultados obtenidos, auxiliándose de los principios, de la estadística descriptiva y se utilizaron gráficas lineales para comparar los puntos de muestreo con un mismo parámetro en época lluviosa y seca.

Se utilizó el método de criterios relevantes integrados (CRI) para estimar los impactos ambientales que se generan sobre el río y el municipio en general, el cual permite determinar la significancia del impacto en cada componente ambiental.

3.8. Análisis estadístico

Para un mejor análisis de los datos se realiza el análisis estadístico que determina los valores de la población o muestra.

3.8.1. Estadística descriptiva

Para el análisis de la base de datos, se utilizaron los principios de la estadística descriptiva, determinando los valores de la media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación y los valores mínimos y máximos de cada parámetro.

3.8.1.1. Media aritmética

Es una medida de tendencia central que se obtiene sumando todos los valores en una población o muestra y dividiendo el valor obtenido entre el número de valores que se sumaron. Su ecuación es:

$$\mu = \frac{\sum i}{N}$$

En donde $\sum i$ es la sumatoria de todos los datos y N es el número de valores. A cada parámetro se le calculó la media incluyendo los resultados de cada muestreo y de los diferentes puntos muestreados.

3.8.1.2. Desviación estándar

Se determina por medio de calcular la raíz cuadrada de la varianza. la varianza es una medida estadística que evalúa la distancia a la que se encuentra un valor de la media. Cuando los valores de un conjunto de observaciones están muy próximos a su media, la dispersión es menor que cuando están distribuidos sobre un amplio recorrido.

La ecuación es la siguiente:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \mu)^2}{N}}$$

En donde x es el valor a analizar, μ es la media y N el número total de datos.

3.8.1.3. Coeficiente de variación

Expresa la desviación estándar como un porcentaje de la media. Su ecuación es:

$$C.V. = \frac{s}{\mu} \cdot 100$$

En donde s es la desviación estándar y μ es la media.

3.8.1.4. Valores mínimos y máximos

Se ordenaron los parámetros desde el valor menor al mayor, para determinar los valores mínimos y máximos de cada uno de estos, y así tener una idea de los puntos y época del año en donde se presenta mayor concentración.

3.8.1.5. Gráficas de dispersión

Se utilizaron gráficas de dispersión para mostrar las tendencias de los parámetros en época lluviosa y seca, para compararlos con los valores que

estipula el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*.

3.8.1.6. Gráficas de barras

Se utilizaron para comparar el caudal en época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo, para mostrar el valor del impacto ambiental (VIA) de los factores ambientales analizados.

3.8.1.7. Gráficas circulares

Se utilizaron para estudiar los porcentajes de los impactos que se producen en cada componente ambiental y para analizar la significancia de los impactos generados por la descarga de aguas residuales al río.

4. RESULTADOS

En este capítulo se describen los puntos en donde se tomaron las muestras de aguas residuales, a las cuales se les realizó un análisis fisicoquímico, bacteriológico y de metales pesados. Se tomaron muestras de cinco descargas puntuales de aguas residuales y de cuatro puntos en las aguas del río Guacalate. Se efectuaron dos muestreos en época lluviosa y dos en época seca.

En la tabla XI se muestran los resultados promedio obtenidos de los análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y de metales pesados proporcionados por el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Facultad de Ingeniería, por el Laboratorio Nacional de Salud y por la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

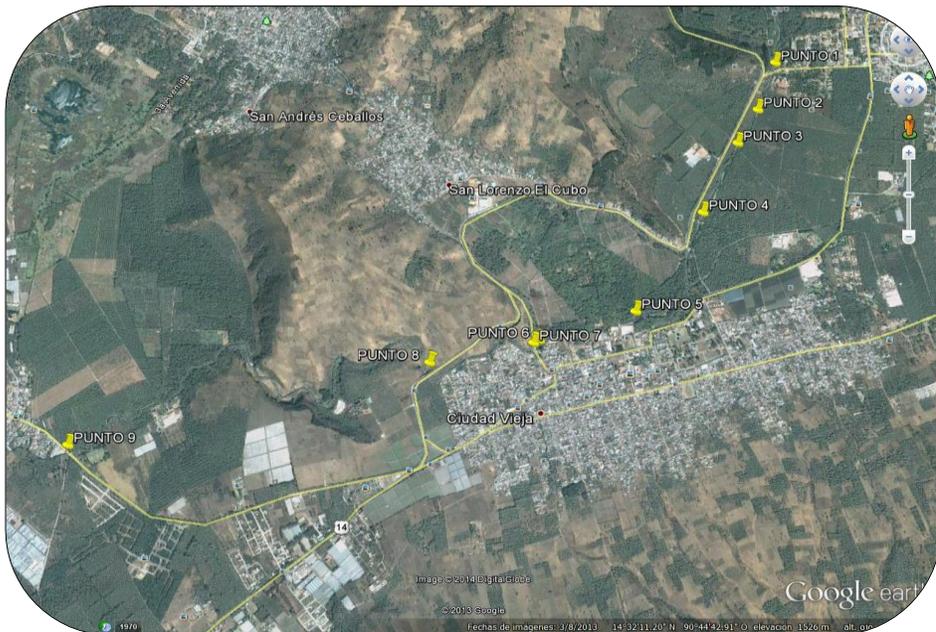
En las tablas XII, XIII y XIV se muestran por separado los resultados de los análisis estadísticos realizados para los nueve puntos de muestreo, para los puntos que representan las descargas y para las muestras del agua del río, con el fin de determinar el aporte de la carga contaminante que tienen únicamente las descargas.

Además, en la tabla XV se observan los impactos ambientales generados a los componentes ambientales por la descarga de aguas residuales al río Guacalate. En esta tabla se observan los valores de impacto ambiental (VIA) y la significancia de cada impacto.

4.1. Puntos de muestreo

Los puntos muestreados se seleccionaron con base en las características hidrográficas del río Guacalate y según su ubicación estratégica, por ejemplo al inicio y final del municipio. También se seleccionaron las descargas significativas de aguas residuales, las cuales abarcan todas las zonas y aldeas del municipio, ya que existen muchas descargas que se hacen directamente hacia el río desde las casas que se encuentran en su ribera.

Figura 3. **Ubicación de los puntos de muestreo de aguas residuales de Ciudad Vieja, Sacatepéquez**



Fuente: *Google Earth*. <https://earth.google.es>. Consulta: marzo de 2014.

En la tabla X se presentan las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo y se determina el origen de estos.

Tabla X. **Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo**

Punto	Origen	Latitud	Longitud
1	Río Guacalate 1	14°32'34,26" N	90°45'8,47" O
2	Descarga 1	14°32'24,09" N	90°45'12,90" O
3	Descarga 2	14°32'16,96" N	90°45'17,62" O
4	Descarga 3	14°32'2,34" N	90°45'25,84" O
5	Río Guacalate 2	14°31'42,24" N	90°45'40,75" O
6	Descarga 4	14°31'37,09" N	90°46'0,08" O
7	Descarga 5	14°31'36,60" N	90°46'1,24" O
8	Río Guacalate 3	14°31'33,40" N	90°46'21,75" O
9	Río Guacalate 4	14°31'19,64" N	90°47'32,79" O

Fuente: elaboración propia.

- Punto 1

El punto 1 tiene las coordenadas geográficas 14°32'34,26" N y 90°45'8,47" O, ubicándose sobre el río Guacalate, en donde inicia el municipio de Ciudad Vieja. Hasta este punto llegan las aguas provenientes del municipio de Chimaltenango; Parramos, Chimaltenango; Pastores, Sacatepéquez y Jocotenango, Sacatepéquez. Las aguas del río Guacalate van muy contaminadas debido a la descarga directa de aguas residuales de los municipios mencionados.

Figura 4. **Punto 1**



Fuente: río Guacalate.

- **Punto 2**

Sus coordenadas geográficas son 14°32'24,09" N y 90°45'12,90" O, siendo este una descarga municipal que recolecta las aguas residuales de toda la zona 6 del municipio. Su aporte de contaminantes es alto y altera significativamente las características del agua del río.

- Punto 3

La latitud de este punto es 14°32'16,96" N y su longitud es 90°45'17,62" O. Esta descarga recolecta las aguas de la zona 5 y parte de la zona 4. Este punto también aporta un grado significativo de contaminación ya que su contenido de materia orgánica es alto.

Figura 5. **Punto 3**



Fuente: descarga de aguas residuales Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

- Punto 4

Las coordenadas geográficas del punto 4 son 14°32'2,34" N y 90°45'25,84" O. Las aguas que se descargan en este punto son las provenientes de una parte de la zona 4 y la zona 3.

Figura 6. **Punto 4**



Fuente: descarga de aguas residuales Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

- **Punto 5**

El muestreo de este punto se realizó dentro de la finca El Potrero, directamente de las aguas del río Guacalate, en las coordenadas geográficas 14°31'42,24" N y 90°45'40,75" O.

En este punto se unen las aguas de las tres descargas anteriores y, aunque los contaminantes se encuentran diluidos, se observa que existe una gran contaminación en el punto.

Figura 7. **Punto 5**



Fuente: descarga de aguas residuales Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

- **Punto 6**

Este punto tiene las coordenadas geográficas $14^{\circ}31'37,09''$ N y $90^{\circ}46'0,08''$ O. Aunque la descarga es grande, no es el punto que presenta mayor concentración de contaminantes. Aquí se descargan las aguas provenientes de la aldea San Lorenzo El Cubo.

- **Punto 7**

Las coordenadas geográficas de este punto son $14^{\circ}31'36,60''$ N y $90^{\circ}46'1,24''$ O, el cual recolecta las aguas provenientes de la zona 2 y parte de

la zona 1. Su contaminación es alta debido a que los basureros clandestinos del área aportan cierta carga de contaminantes al mezclarse con las aguas pluviales que se juntan con las aguas residuales en el drenaje combinado.

Figura 8. **Punto 7**



Fuente: descarga de aguas residuales Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

- **Punto 8**

Sus coordenadas geográficas son 14°31'33,40" N y 90°46'21,75" O. Este es un punto en el río en donde se unen las aguas residuales de todas las descargas del municipio. Tiene contaminación visible debido a que el agua lleva desechos sólidos grandes y se percibe un olor desagradable.

- **Punto 9**

El muestreo de este punto se realizó al final del municipio de Ciudad Vieja, en donde inicia el de San Miguel Dueñas. Las aguas en este punto, cuyas

coordenadas son 14°31'19,64" N y 90°47'32,79" O, llevan la contaminación de todo el municipio y de los municipios mencionados con anterioridad. La descomposición de la materia orgánica permite la proliferación de microorganismos anaerobios, los cuales, al degradar lentamente la materia orgánica, liberan gases de olor desagradable, como se observó en todos los puntos muestreados sobre el río.

Figura 9. **Punto 9**



Fuente: descarga de aguas residuales Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

4.2. Análisis estadístico

En la tabla XI se presentan los valores promedio de los parámetros que miden la calidad del agua, de los muestreos realizados en época seca y

lluviosa. En la tabla XII se presentan los valores de las variables estadísticas (media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación, valores mínimos y valores máximos), para los nueve puntos muestreados. En las tablas XIII y XIV se analizan, de forma separada, los datos de las descargas puntuales de aguas residuales y de los muestreos realizados directamente de las aguas del río, para tener más claro el aporte de contaminantes que tienen las aguas residuales exclusivamente.

Tabla XI. Promedio de los parámetros que miden la calidad del agua en época lluviosa y seca de nueve puntos de muestreo

Parámetros	unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DQO	mg/L	226,00	1 628,00	1 084,75	919,50	243,25	614,00	921,00	331,75	133,00
DBO ₅	mg/L	74,20	655,00	603,75	476,50	95,18	342,00	521,50	136,10	66,47
Grasas y aceites	mg/L	***	148,90	36,90	319,70	***	***	135,05	51,90	***
SS	mg/L	224,38	453,68	372,48	312,35	190,38	346,25	304,10	169,05	253,75
Color	U Pt-Co	495,50	2 828,80	2 328,53	2 237,08	582,63	922,75	2 033,98	1 020,03	469,63
Nitrógeno total	mg/L	***	2,90	12,15	3,83	***	***	5,43	12,58	***
Fósforo total	mg/L	***	9,46	12,15	9,05	***	***	7,34	3,36	***
Coliformes fecales	NMP/100 mL	8,9x10 ⁵	7,4x10 ⁷	1,9x10 ⁷	4,6x10 ⁷	8,9x10 ⁵	5,1x10 ⁵	9,9x10 ⁶	1,4x10 ⁷	5,1x10 ⁶
Arsénico	mg/L	0,01	0,0056	0,005	0,005	***	***	0,005	0,005	0,02
Cadmio	mg/L	ND	0,00075	0,00075	0,00075	***	***	0,00075	0,00075	ND
Cobre	mg/L	0,03	0,35	0,35	0,35	***	***	0,35	0,35	0,06
Mercurio	mg/L	***	0,001	0,001	0,001	***	***	0,001	0,001	***
Niquel	mg/L	***	0,5	0,5	0,5	***	***	0,5	0,5	***
Plomo	mg/L	ND	0,0199	0,0083	0,0080	***	***	0,0104	0,0050	ND
Zinc	mg/L	***	0,7060	0,3805	0,35	***	***	0,35	0,35	***

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua de nueve puntos de muestreo**

Parámetros	Unidades	Media	S	CV	Val min	Val max
DQO	mg/L	682,36	467,25	68,48	133,00	1628,00
DBO ₅	mg/L	330,08	227,66	68,97	66,47	655,00
Grasas y aceites	mg/L	138,49	100,77	72,76	36,90	319,70
SS	mg/L	291,82	86,67	29,70	169,05	453,68
Color	U Pt-Co	1435,44	864,03	60,19	469,63	2828,80
Nitrógeno total	mg/L	7,38	4,15	56,25	2,90	12,58
Fósforo total	mg/L	8,27	2,90	35,06	3,36	12,15
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1,9x10 ⁷	2,3x10 ⁷	121,05	8,9x10 ⁵	7,4x10 ⁷
Arsénico	mg/L	< 0,005	0,00	0,00	< 0,005	4,73
Cadmio	mg/L	< 0,00075	0,00	0,00	< 0,00075	< 0,00075
Cobre	mg/L	0,26	0,14	53,26	0,03	0,35
Mercurio	mg/L	< 0,001	0,00	0,00	< 0,001	< 0,001
Níquel	mg/L	< 0,5	0,00	0,00	< 0,5	< 0,5
Plomo	mg/L	0,01	0,00	0,00	0,0050	0,0199
Zinc	mg/L	0,43	0,14	32,76	< 0,35	0,7060

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua de cinco descargas de aguas residuales**

Parámetros	Unidades	Media	S	CV	Val min	Val max
DQO	mg/L	1 033,45	333,97	32,32	614,00	1 628,00
DBO ₅	mg/L	519,75	108,46	20,87	342,00	655,00
Grasas y aceites	mg/L	160,14	101,74	63,53	36,90	319,70
SS	mg/L	357,77	53,83	15,05	304,10	453,68
Color	U Pt-Co	2 070,23	630,56	30,46	922,75	2 828,80
Nitrógeno total	mg/L	6,08	3,62	59,56	2,90	12,15
Fósforo total	mg/L	9,50	1,72	18,11	7,34	12,15
Coliformes fecales	NMP/100 mL	3,08x10 ⁷	2,9x10 ⁷	94,15	5,1x10 ⁶	7,4x10 ⁷
Arsénico	mg/L	< 0,005	0,00	0,00	< 0,005	0,0056
Cadmio	mg/L	< 0,00075	0,00	0,00	< 0,00075	< 0,00075
Cobre	mg/L	< 0,35	0,00	0,00	< 0,35	< 0,35
Mercurio	mg/L	< 0,001	0,00	0,00	< 0,001	< 0,001
Níquel	mg/L	< 0,5	0,00	0,00	< 0,5	< 0,5
Plomo	mg/L	0,01	0,00	0,00	0,0080	0,0199
Zinc	mg/L	0,45	0,15	33,59	< 0,35	0,7060

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua de cuatro puntos sobre el río**

Parámetros	Unidades	Media	S	CV	Val min	Val max
DQO	mg/L	243,50	71,60	29,40	133,00	331,75
DBO₅	mg/L	92,99	27,02	29,06	66,47	136,10
Grasas y aceites	mg/L	51,90	0,00	0,00	51,90	51,90
SS	mg/L	209,39	32,33	15,44	169,05	253,75
Color	U Pt-Co	641,95	222,26	34,62	469,63	1020,03
Nitrógeno total	mg/L	12,58	0,00	0,00	12,58	12,58
Fósforo total	mg/L	3,36	0,00	0,00	3,36	3,36
Coliformes fecales	NMP/ 100 mL	5,2x10 ⁶	5,3x10 ⁶	101,92	8,9x10 ⁵	1,4x10 ⁷
Arsénico	mg/L	0,01	0,00	0,00	< 0,005	0,01
Cadmio	mg/L	< 0,00075	0,00	0,00	< 0,00075	< 0,00075
Cobre	mg/L	< 0,35	0,00	0,00	0,03	< 0,35
Mercurio	mg/L	< 0,001	0,00	0,00	< 0,001	< 0,001
Níquel	mg/L	< 0,5	0,00	0,00	< 0,5	< 0,5
Plomo	mg/L	0,01	0,00	0,00	0,0050	0,0050
Zinc	mg/L	< 0,35	0,00	0,00	< 0,35	< 0,35

Fuente: elaboración propia.

4.3. Estimación del impacto ambiental

En la tabla XV se muestran los resultados obtenidos de los impactos ambientales sobre los componentes ambientales por la actividad de descarga de aguas residuales al río Guacalate.

Tabla XV. **Matriz de valoración de impactos ambientales**

Componentes ambientales			Signo	I	E	D	M	R	RG	Significancia	
										VIA	Calificación
MEDIO FÍSICO	Agua	Superficiales	-	8,0	8,0	8,0	-8,0	7,0	9,0	7,9	Significativo
		Subterráneas	-	4,0	4,0	7,0	-4,6	6,0	5,0	5,1	Medianamente significativo
	Tierra	Suelo	-	2,0	7,0	7,0	-5,0	6,0	4,0	4,9	Medianamente significativo
	Aire	Calidad	-	6,0	7,0	6,0	-6,4	3,0	8,0	5,5	Medianamente significativo
		Olor	-	5,0	5,0	6,0	-5,2	3,0	7,0	4,8	Medianamente significativo
MEDIO BIOLÓGICO	Flora	Árboles y hierbas	-	4,0	4,0	6,0	-4,4	3,0	4,0	3,8	Poco significativo
	Fauna	Animales acuáticos	-	8,0	7,0	8,0	-7,6	8,0	8,0	7,8	Significativo
		Aves y animales terrestres	-	3,0	5,0	5,0	-4,2	4,0	3,0	3,7	Poco significativo
		Insectos	-	6,0	6,0	6,0	-6,0	5,0	7,0	5,9	Medianamente significativo
	Ecología	Zonas de vida	-	4,0	5,0	7,0	-5,0	6,0	4,0	4,9	Medianamente significativo
		Áreas protegidas	-	2,0	7,0	5,0	-4,6	3,0	3,0	3,6	Poco significativo
MEDIO SOCIOECONÓMICO Y CULTURAL	Social	Salud	-	4,0	5,0	3,0	-4,2	2,0	8,0	4,1	Medianamente significativo
		Agua Potable	-	4,0	4,0	7,0	-4,6	6,0	5,0	5,1	Medianamente significativo
	Económico	Economía	-	3,0	4,0	7,0	-4,2	6,0	4,0	4,6	Medianamente significativo
		Usos del territorio	-	2,0	4,0	3,0	-3,0	3,0	2,0	2,7	Poco significativo
	Cultural	Paisajes	-	5,0	6,0	7,0	-5,8	5,0	7,0	5,9	Medianamente significativo
		Áreas recreativas	-	3,0	4,0	3,0	-3,4	3,0	2,0	2,8	Poco significativo
		Sitios turísticos y arqueológicos	-	2,0	4,0	4,0	-3,2	3,0	2,0	2,7	Poco significativo

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Con los resultados de los análisis fisicoquímicos, bacteriológicos y de metales pesados proporcionados por el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Facultad de Ingeniería, la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia y el Laboratorio Nacional de Salud, se verifica el cumplimiento de algunos parámetros que miden la calidad del agua con *el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales*.

El análisis estadístico que se realiza en este capítulo permite describir la variación de los parámetros respecto a su media. Esta variación, en algunos puntos, es grande, debido a que los parámetros medidos de las descargas de aguas residuales están más concentrados, mientras que los medidos en los puntos sobre el río se encuentran más diluidos, dando valores muy dispersos.

Se estima el impacto ambiental que se genera sobre el río Guacalate por descargar las aguas residuales directamente sobre él. También se analizan los efectos negativos que se producen sobre otros componentes ambientales como el medio físico, biológico, socioeconómico y cultural.

El método utilizado para estimar los impactos ambientales sobre los componentes ambientales es el de Criterios Relevantes Integrados (CRI). En este se cuantifican las características del impacto como carácter, intensidad, extensión, duración, magnitud, reversibilidad, riesgo y el valor del impacto ambiental (VIA). Finalmente, se propone un plan de manejo ambiental (PMA) para evitar la degradación de los componentes ambientales.

5.1. Verificación del cumplimiento del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*

El Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos establece, en su artículo 24, los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales, por lo que la verificación del cumplimiento del Reglamento en el municipio de Ciudad Vieja se realizó según dicho artículo. Los valores se compararon con los establecidos en la etapa uno del artículo 24, ya que es la fecha más cercana de cumplimiento (dos de mayo de dos mil quince).

Los parámetros analizados fueron DBO₅, grasas y aceites, sólidos suspendidos, color, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc.

5.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Los valores reportados demuestran que los puntos 2, 3, 4, 6 y 7 no cumplen con el límite máximo permisible (LMP) para ninguno de los análisis efectuados, ya que estos puntos corresponden a descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento previo, por lo tanto, la cantidad de materia fecal presente en ellas es alto.

El valor máximo reportado en época lluviosa es para el punto 3, de 604,0 mg/L. El valor máximo en época seca, que es cuando la concentración de contaminantes es más alta, es para el punto 2 con 811,50 mg/L, por lo que ambos valores sobrepasan el LMP, el cual es de 250 mg/L.

Los puntos que cumplen con el LMP son el 1, 5, 8 y 9, ya que los muestreos de estos se realizaron directamente del río, por lo tanto, los contaminantes se encontraban diluidos. El valor mínimo para la época lluviosa es de 35,85 mg/L, para el punto 5, y un valor de 98,15 mg/L, para el punto 1 en época seca.

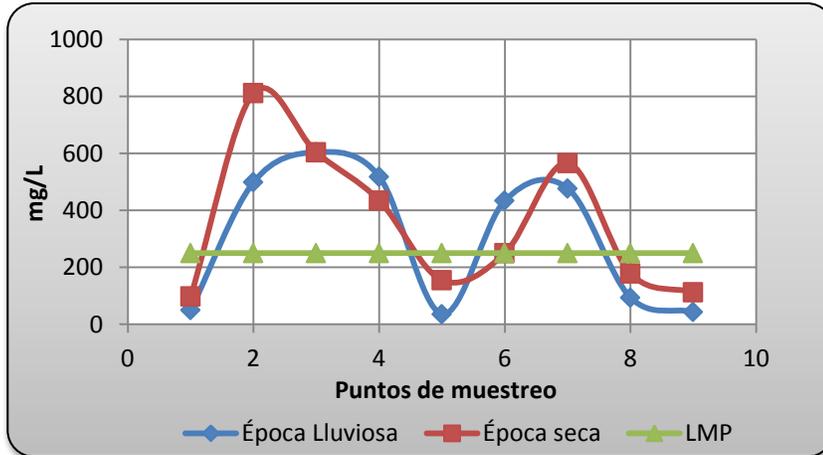
En la figura 10 se observa que la mayoría de puntos muestreados se encuentran sobre el LMP y que solo el punto 6 tiene un valor igual a este. Estos resultados muestran que mientras mayor sea la cantidad de compuestos orgánicos presentes en el agua, mayor será la demanda de oxígeno necesaria para su degradación. Estos resultados se relacionan directamente con los análisis de coliformes fecales.

Tabla XVI. **Demanda bioquímica de oxígeno reportada durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo época lluviosa		Muestreo época seca		Promedio época lluviosa	Promedio época seca	LMP
		1	2	3	4			
1	mg/L	30,0	70,5	146,0	50,3	50,25	98,15	250,00
2	mg/L	597,0	400,0	1 059,0	564,0	498,50	811,50	250,00
3	mg/L	332,0	876,0	631,0	576,0	604,00	603,50	250,00
4	mg/L	552,0	485,0	544,0	325,0	518,50	434,50	250,00
5	mg/L	28,0	43,7	203,0	106,0	35,85	154,50	250,00
6	mg/L	293,0	575,0	280,0	220,0	434,00	250,00	250,00
7	mg/L	475,0	479,0	535,0	597,0	477,00	566,00	250,00
8	mg/L	95,8	91,6	225,0	132,0	93,70	178,50	250,00
9	mg/L	55,0	32,4	112,0	***	43,70	112,00	250,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Demanda bioquímica de oxígeno reportada durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Grasas y aceites

La tabla XVII presenta los valores de la carga de contaminación por grasas y aceites en 5 puntos de muestreo, en donde se observa que la mayoría de los puntos no cumplen con el Reglamento debido a que tienen un valor mucho mayor que el LMP, el cual es de 50 mg/L. Estos valores altos de grasas y aceites se deben a las actividades que se realizan en las viviendas, en las cuales se vierten estos compuestos directamente al alcantarillado.

En la figura 11 se observa que los valores de grasas y aceites no presentan gran variación en época lluviosa y seca, con excepción del punto 2 que tiene una diferencia de 171,2 mg/L. El valor más alto se registra en el punto 4 para las dos épocas, con un promedio de 319,7 mg/L. Los valores menores al LMP los tiene el punto 3 con 16,70 mg/L en época lluviosa y el punto 8 con 45,8 mg/L en época seca. Los puntos de muestreo que más se acercan al LMP

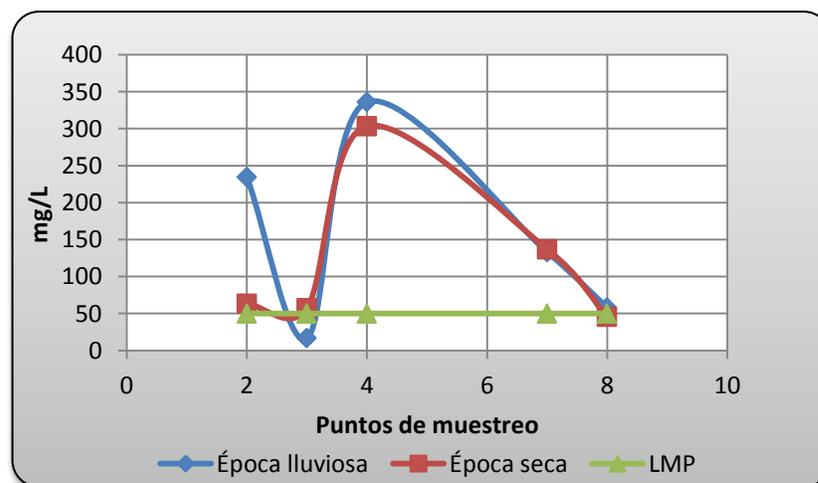
son el punto 8 con un valor de 58,0 mg/L en época lluviosa y los puntos 2 y 3 con valores de 63,3 mg/L y 57,1 mg/L respectivamente, en época seca.

Tabla XVII. **Grasas y aceites reportados durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo época lluviosa		Muestreo época seca		Promedio época lluviosa	Promedio época seca	LMP
		1	2	3	4			
2	mg/L	152,4	316,6	19,2	107,4	234,50	63,30	50
3	mg/L	15,6	17,8	31,4	82,8	16,70	57,10	50
4	mg/L	< 10	661,8	575,6	31,4	335,90	303,50	50
7	mg/L	127,2	139,2	115,6	158,2	133,20	136,90	50
8	mg/L	94,8	21,2	< 10	81,6	58,00	45,80	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Grasas y aceites reportados durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Sólidos suspendidos

La tabla XVIII contiene los valores promedio de sólidos suspendidos en las épocas lluviosa y seca de 4 puntos en el río Guacalate y 5 descargas de aguas residuales municipales. El límite máximo permisible para este parámetro es de 274 mg/L, por lo que se puede observar, en la figura 12, que varios de los puntos muestreados presentan un valor mayor al LMP.

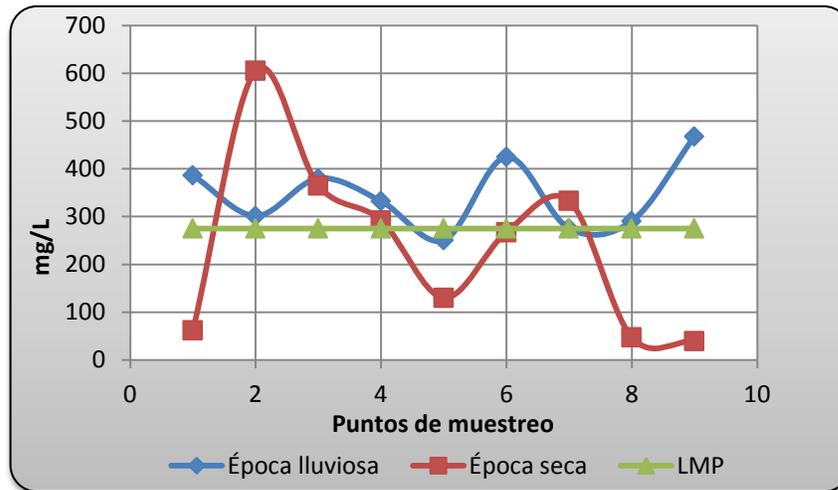
El valor menor para la época lluviosa es de 250,75 mg/L, el cual corresponde al punto 5 y de 39,50 mg/L para el punto 9 en época seca. El valor mayor es de 468,0 mg/L para el punto 9 en época lluviosa y de 605,8 mg/L para el punto 2 en época seca.

Tabla XVIII. **Sólidos suspendidos reportados durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo época lluviosa		Muestreo época seca		Promedio época lluviosa	Promedio época seca	LMP
		1	2	3	4			
1	mg/L	620,0	152,5	75,0	50,0	386,25	62,50	275
2	mg/L	383,8	219,3	810,7	400,9	301,55	605,80	275
3	mg/L	89,7	670,3	350,8	379,1	380,00	364,95	275
4	mg/L	346,7	318,2	162,7	421,8	332,45	292,25	275
5	mg/L	197,5	304,0	160,0	100,0	250,75	130,00	275
6	mg/L	450,0	400,0	235,0	300,0	425,00	267,50	275
7	mg/L	304,4	245,8	309,1	357,1	275,10	333,10	275
8	mg/L	496,1	85,4	23,7	71,0	290,75	47,35	275
9	mg/L	340,0	596,0	54,0	25,0	468,00	39,50	275

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Sólidos suspendidos reportados durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 12 se observa un pico en el punto 2, correspondiendo a la época seca y la mayoría de puntos en época lluviosa presentan valores mayores al límite máximo permisible, el cual es de 275 mg/L, por lo que no cumplen con el Reglamento. Muchos de los puntos muestreados se encuentran cerca del LMP y otros, principalmente los puntos sobre el río, se encuentran por debajo de éste en el muestreo de época seca.

5.1.4. Color

El color del agua es producido por los minerales disueltos, colorantes o ácidos lumínicos de las plantas.

En la figura 13 se observa que la mayoría de los puntos muestreados tiene un valor mayor que el LMP para este parámetro, el cual es de 1 000 U Pt-Co. El

valor mayor en época lluviosa es de 2 244,0 U Pt-Co para el punto 4 y para la época seca es de 3 520,70 U Pt-Co para el punto 2. Todos los puntos muestreados que corresponden a descargas puntuales de aguas residuales, con excepción del punto 6, no cumplen con el Reglamento ya que sus valores sobrepasan el LMP.

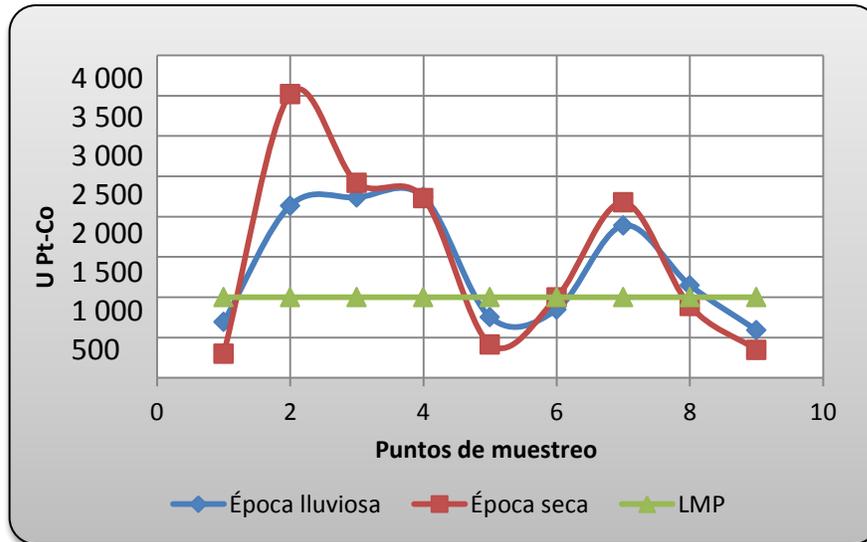
Como se observa en la tabla XIX, los valores menores en época lluviosa corresponden a los puntos 1, 5 y 9 con valores de 693,50, 751,75 y 591,25 U Pt-Co respectivamente. En época seca, los puntos de menor valor coinciden con los de la época lluviosa, los cuales son el 1, 5 y 9, con valores de 297,50, 413,50 y 348,0 U Pt-Co. Estos puntos se ubican directamente en el río, por lo que la dilución de los contaminantes juega un papel importante para dar estos resultados.

Tabla XIX. Color reportado durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo época lluviosa		Muestreo época seca		Promedio época lluviosa	Promedio época seca	LMP
		1	2	3	4			
1	U Pt-Co	517,0	870,0	339,0	256,0	693,50	297,50	1 000
2	U Pt-Co	2 414,6	1 859,2	4 707,6	2 333,8	2 136,90	3 520,70	1 000
3	U Pt-Co	1 309,7	3 164,5	2 515	2 324,9	2 237,10	2 419,95	1 000
4	U Pt-Co	2 327,9	2 160,1	2 137,0	2 323,3	2 244,00	2 230,15	1 000
5	U Pt-Co	381,0	1 122,5	418,0	409,0	751,75	413,50	1 000
6	U Pt-Co	705,0	990,0	1 460,0	536,0	847,50	998,00	1 000
7	U Pt-Co	1 998,0	1 784,3	2 099,4	2 254,2	1 891,15	2 176,80	1 000
8	U Pt-Co	1 764,6	533,5	953,9	828,1	1 149,07	890,99	1 000
9	U Pt-Co	260,0	922,5	406,0	290,0	591,25	348,00	1 000

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Color reportado durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.5. Nitrógeno total

Este es uno de los principales nutrientes en el agua residual. Es esencial para el crecimiento de las plantas y organismos, aunque las grandes concentraciones de nitrógeno son indicativas de contaminación orgánica.

Según la figura 14, los cinco puntos muestreados cumplen con el Reglamento tanto en época lluviosa como seca, ya que sus valores están por debajo del LMP el cual es de 150 mg/L. El valor menor promedio en época lluviosa es de 4,9 mg/L para el punto 2 y el mayor de 22,25 mg/L para el punto 3. En época seca, el valor menor lo tiene el punto 2 con 0,9 mg/L y el mayor de 15,45 mg/L para el punto 8.

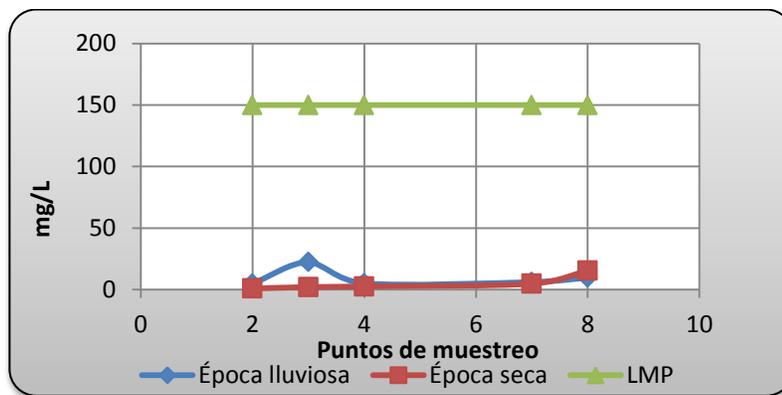
Estos valores bajos de nitrógeno indican que el agua del río Guacalate aún no está en proceso de eutrofización, pero si no se implementan sistemas de tratamiento de las aguas residuales, puede ser que en el futuro sí se lleve a cabo este proceso.

Tabla XX. **Nitrógeno total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo época lluviosa		Muestreo época seca		Promedio época lluviosa	Promedio época seca	LMP
		1	2	3	4			
2	mg/L	< 0,5	9,3	0,7	1,1	4,90	0,90	150
3	mg/L	44,0	< 0,5	< 0,5	3,6	22,25	2,05	150
4	mg/L	9,1	1,1	4,6	< 0,5	5,10	2,55	150
7	mg/L	11,7	< 0,5	9,0	0,5	6,10	4,75	150
8	mg/L	11,5	7,9	17,0	13,9	9,70	15,45	150

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Nitrógeno total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.6. Fósforo total

Es un nutriente importante en el medio acuático, en las aguas dulces, y un limitante en el proceso de eutrofización. También es componente de algunos fertilizantes usados en la agricultura.

En la tabla XXI se observa que todos los valores cumplen con el reglamento, ya que están por debajo del LMP. Los valores menores en época lluviosa y seca son de 2,9 y 3,82 mg/L respectivamente, ambos para el punto 8. Los valores mayores son de 14,1 mg/L en época lluviosa y de 10,2 mg/L en época seca para el punto 3.

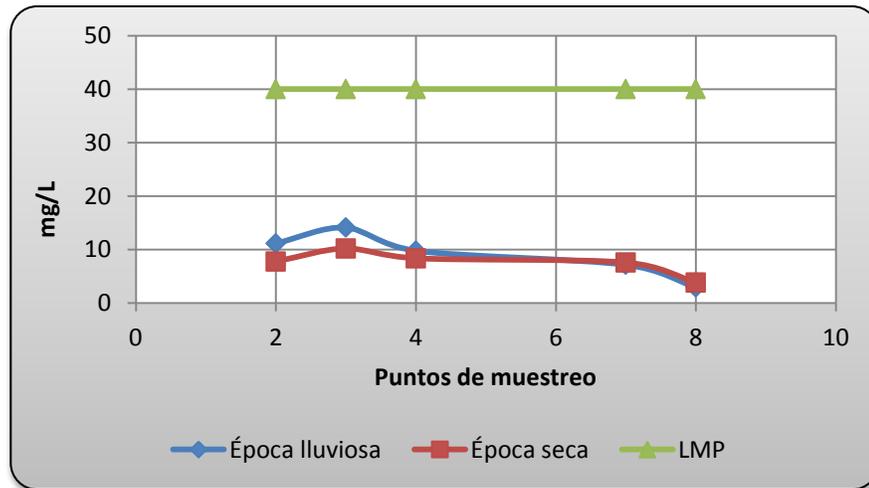
Estos resultados reflejan que, a pesar de que en el municipio hay actividad agrícola, las prácticas que se utilizan en la misma no están afectando en gran medida la calidad del río Guacalate.

Tabla XXI. **Fósforo total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo época lluviosa		Muestreo época seca		Promedio época lluviosa	Promedio época seca	LMP
		1	2	3	4			
2	mg/L	11,15	11,15	4,18	11,35	11,15	7,77	40
3	mg/L	12,75	15,45	11,40	9,00	14,10	10,20	40
4	mg/L	10,35	9,15	8,60	8,10	9,75	8,35	40
7	mg/L	8,60	5,65	7,50	7,60	7,13	7,55	40
8	mg/L	3,05	2,75	4,00	3,64	2,90	3,82	40

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Fósforo total reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.7. Coliformes fecales

Los resultados de los análisis bacteriológicos demostraron que los valores de coliformes fecales se encuentran muy elevados. Esto se debe a la naturaleza de dichas aguas, ya que la materia fecal permite la proliferación de estos microorganismos.

La falta de tratamiento de aguas residuales antes de descargarlas al río aporta gran cantidad de materia orgánica al agua, como lo reflejan los resultados obtenidos durante los muestreos, los cuales se observan en la tabla XXII. Los altos valores de coliformes fecales indican que hay muchos organismos patógenos en el agua, lo que pone en riesgo los ecosistemas y la salud de la población.

El Reglamento establece que el LMP de coliformes fecales debe ser menor a 1×10^7 NMP/100 mL, por lo que hay varios puntos que no cumplen con el Reglamento. Los dos picos que se observan en la figura 16 corresponden al punto 4 con $7,8 \times 10^7$ NMP/100 mL en época lluviosa y $1,3 \times 10^8$ NMP/100 mL para el punto 2 en época seca. Estos valores revelan la alta contaminación por materia orgánica que llevan las aguas residuales del municipio.

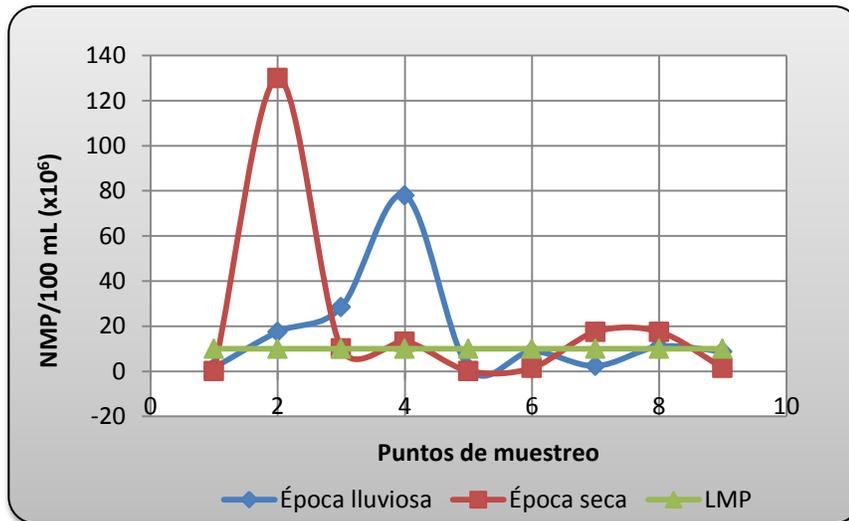
Tabla XXII. **Coliformes fecales reportadas durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo época lluviosa		Muestreo época seca		Promedio época lluviosa	Promedio época seca	LMP
		1	2	3	4			
1	NMP/100 mL	16×10^3	$>16 \times 10^3$	33×10^4	33×10^4	$1,60 \times 10^5$	$1,81 \times 10^5$	$< 1 \times 10^7$
2	NMP/100 mL	$2,4 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	$1,5 \times 10^8$	$1,1 \times 10^8$	$1,75 \times 10^7$	$1,30 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$
3	NMP/100 mL	$4,6 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	$9,3 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	$2,85 \times 10^7$	$1,01 \times 10^7$	$< 1 \times 10^7$
4	NMP/100 mL	$4,6 \times 10^7$	$1,1 \times 10^8$	$2,4 \times 10^7$	$2,4 \times 10^8$	$7,80 \times 10^7$	$1,32 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$
5	NMP/100 mL	$>16 \times 10^3$	$>16 \times 10^3$	33×10^4	17×10^4	$1,60 \times 10^5$	$1,73 \times 10^5$	$< 1 \times 10^7$
6	NMP/100 mL	$>16 \times 10^3$	$>16 \times 10^3$	14×10^3	$>16 \times 10^3$	$8,80 \times 10^5$	$1,50 \times 10^5$	$< 1 \times 10^7$
7	NMP/100 mL	$4,6 \times 10^5$	$1,5 \times 10^5$	$1,1 \times 10^7$	$2,4 \times 10^7$	$2,37 \times 10^5$	$1,75 \times 10^7$	$< 1 \times 10^7$
8	NMP/100 mL	$1,1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	$2,4 \times 10^7$	$1,10 \times 10^7$	$1,75 \times 10^7$	$< 1 \times 10^7$
9	NMP/100 mL	$>16 \times 10^3$	$>16 \times 10^3$	14×10^3	$>16 \times 10^3$	$8,80 \times 10^5$	$1,50 \times 10^5$	$< 1 \times 10^7$

Fuente: elaboración propia.

Los puntos 1, 5, 6 y 9 cumplen con el Reglamento, ya que sus valores son menores que el LMP, sin embargo, estos valores aún representan peligro para la biota del lugar.

Figura 16. **Coliformes fecales reportadas durante la época lluviosa y seca en nueve puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.8. Arsénico

Es un metal que puede ser tóxico, puede estar presente en las cuencas hidrográficas que se encuentran cerca de volcanes, llegando a los ríos por escurrimientos superficiales; o bien, pueden llegar por vía antropogénica por contaminación industrial o pesticidas.

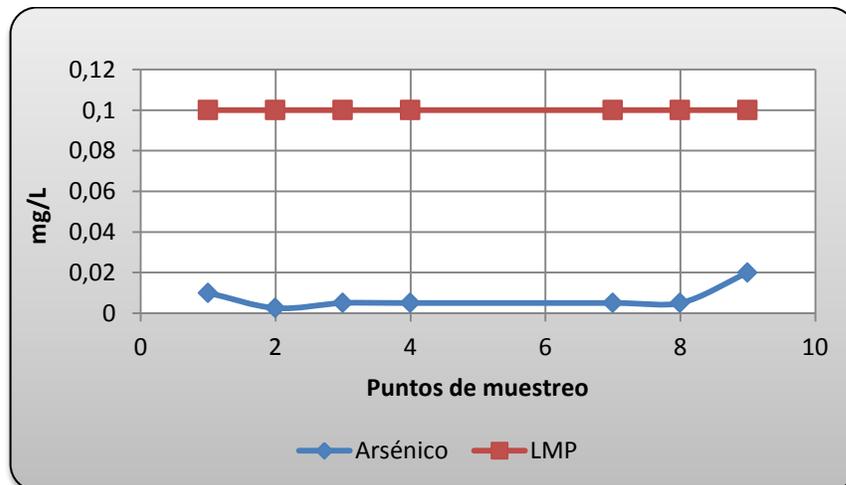
El límite máximo permisible para el arsénico es 0,1 mg/L. Los análisis para este parámetro revelaron que en el punto 1 y 9 no se detectó la presencia de este metal durante el primer muestreo y en los demás puntos, la mayoría dieron como resultado valores menores a 0,005 mg/L, siendo este el valor menor. El valor mayor corresponde al punto 1 con 0,01 mg/L. Por lo tanto se cumple con el Reglamento para el arsénico.

Tabla XXIII. **Arsénico reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo metales pesados		Promedio	LMP
		1	2		
1	mg/L	***	0,01	0,01	0,1
2	mg/L	0,0062	< 0,005	0,0056	0,1
3	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,1
4	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,1
7	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,1
8	mg/L	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,1
9	mg/L	***	0,02	0,02	0,1

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Arsénico reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.9. Cadmio

Es liberado a los ríos por la descomposición de rocas o por actividades industriales. Puede ser nocivo para la vida acuática y puede causar problemas para la salud si es ingerido.

El Reglamento establece un límite máximo permisible de 0,1 mg/L para el cadmio. El valor reportado para todos los puntos muestreados es menor a 0,00075 mg/L y en los puntos 1 y 9 no se reportó la presencia del mismo, por lo que todos los puntos cumplen con el Reglamento.

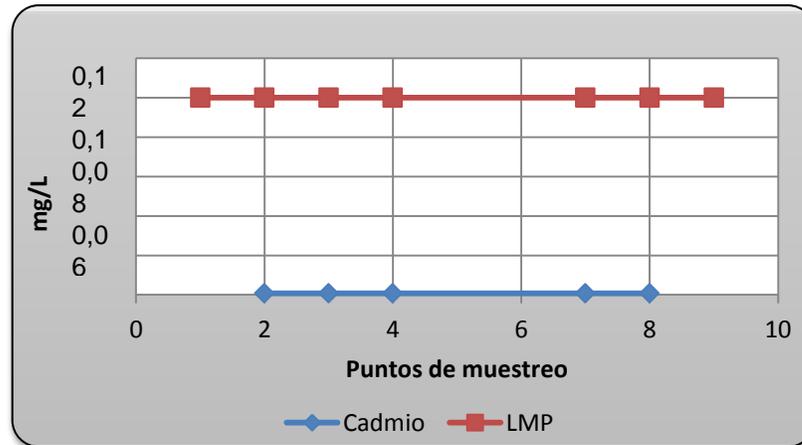
Estas concentraciones tan bajas de este metal demuestran que no existe contaminación industrial en el municipio de Ciudad Vieja y que las aguas residuales son de tipo ordinario.

Tabla XXIV. **Cadmio reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo metales pesados		Promedio	LMP
		1	2		
1	mg/L	***	ND	ND	0,1
2	mg/L	< 0,00075	< 0,00075	< 0,00075	0,1
3	mg/L	< 0,00075	< 0,00075	< 0,00075	0,1
4	mg/L	< 0,00075	< 0,00075	< 0,00075	0,1
7	mg/L	< 0,00075	< 0,00075	< 0,00075	0,1
8	mg/L	< 0,00075	< 0,00075	< 0,00075	0,1
9	mg/L	***	ND	ND	0,1

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Cadmio reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.10. Cobre

Tiene muchas propiedades físicas que propician su uso en la industria. Este metal, al encontrarse en exceso en el agua, puede matar a los peces y a otros organismos acuáticos.

En la tabla XXV se muestran los resultados de los análisis para el cobre y en la figura 19 puede verse la relación de la carga de este contaminante con el límite máximo permisible.

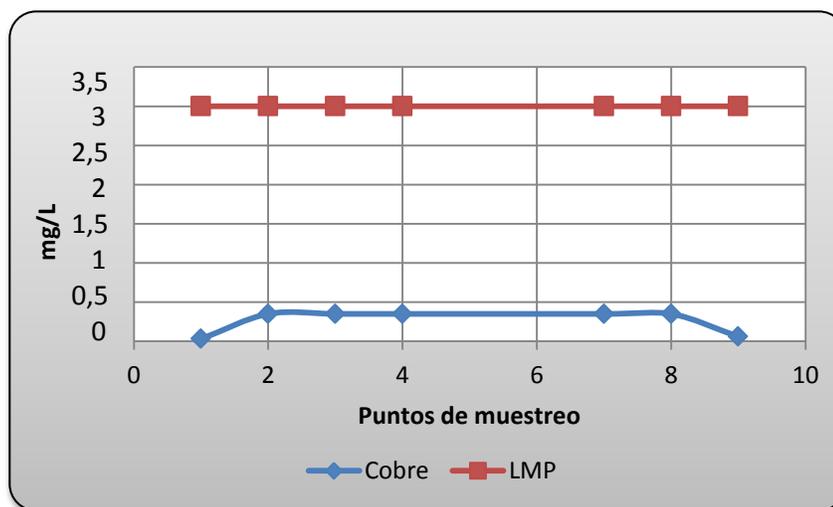
El límite máximo permisible de este metal en aguas residuales es de 3 mg/L y la mayoría de puntos muestreados tiene un valor menor a 0,35 mg/L, cumpliendo de esta manera con el Reglamento. El valor en el punto 1 es de 0,03 mg/L y en el punto 9 es de 0,06 mg/L.

Tabla XXV. **Cobre reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo metales pesados		Promedio	LMP
		1	2		
1	mg/L	***	0,03	0,03	3
2	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	3
3	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	3
4	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	3
7	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	3
8	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	3
9	mg/L	***	0,06	0,06	3

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Cobre reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.11. Mercurio

Es un componente frecuente de aguas residuales industriales. Los compuestos de mercurio se usan principalmente como plaguicidas agrícolas, en pinturas, componentes eléctricos, cosméticos, termómetros, baterías, entre otros.

El LMP que establece el Reglamento es de 0,02 mg/L, por lo que todos los puntos de muestreo cumplen con este, ya que la carga de mercurio es menor a 0,001 mg/L, como se observa en la tabla XXVI.

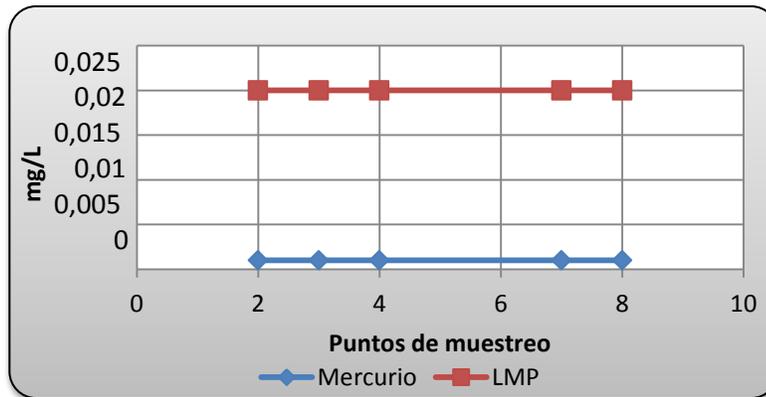
Estos resultados demuestran que las aguas residuales que se descargan al río son de tipo ordinario, ya que son principalmente de origen doméstico y en el municipio hay poca industria, la cual es la principal generadora de este metal.

Tabla XXVI. **Mercurio reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo metales pesados	Promedio	LMP
		1		
2	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,02
3	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,02
4	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,02
7	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,02
8	mg/L	< 0,001	< 0,001	0,02

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Mercurio reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.12. Níquel

Se utiliza principalmente en la producción de acero inoxidable y aleaciones. Este metal es liberado por los grifos y otros utensilios domésticos. La exposición a grandes cantidades de níquel es tóxica para la salud.

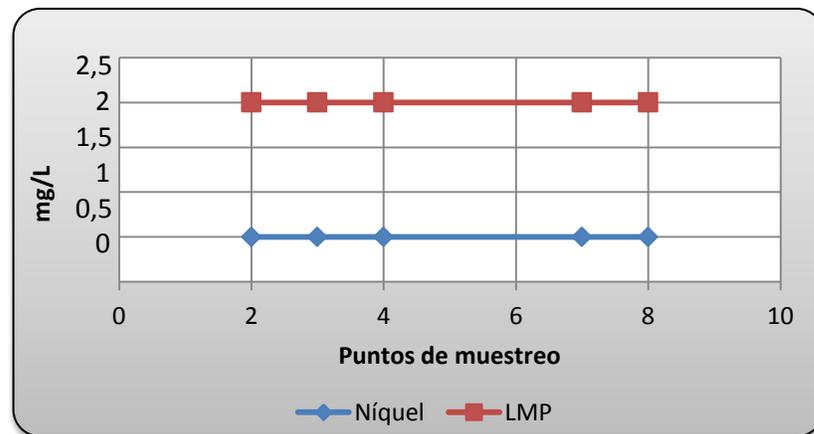
Tabla XXVII. **Níquel reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo metales pesados		Promedio	LMP
		1	2		
2	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2
3	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2
4	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2
7	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2
8	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVII se observa que todos los puntos muestreados tienen un valor menor a 0,5 mg/L, cumpliendo de esta manera con el Reglamento que establece un LMP de 2 mg/L. En la figura 21 se observa que los valores de níquel son mucho menores que el LMP.

Figura 21. **Níquel reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.13. Plomo

Es un metal pesado que entra en el ciclo del agua a través de la corrosión de las tuberías y de pinturas. Este metal se acumula en el cuerpo de los organismos acuáticos, que al ser ingeridos por los humanos afectan la salud por envenenamiento.

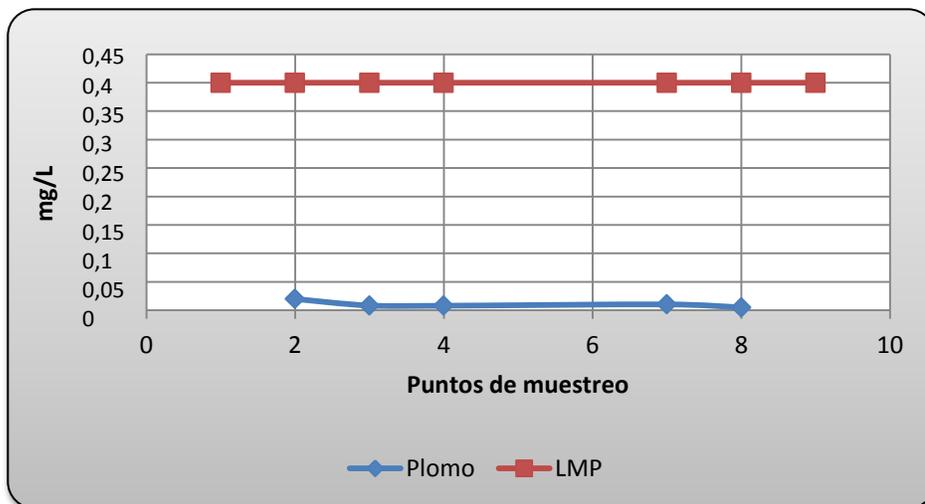
De los 7 puntos muestreados, en 2 no se detectó la presencia del plomo, mientras que en los otros puntos, el valor es menor que el LMP, el cual es de 0,4 mg/L, cumpliendo de esta manera con el Reglamento.

Tabla XXVIII. **Plomo reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo metales pesados		Promedio	LMP
		1	2		
1	mg/L	***	ND	ND	0,4
2	mg/L	0,0342	0,0056	0,0199	0,4
3	mg/L	0,0097	0,0069	0,0083	0,4
4	mg/L	0,0087	0,0073	0,0080	0,4
7	mg/L	0,0087	0,0120	0,0104	0,4
8	mg/L	< 0,005	0,0050	0,0050	0,4
9	mg/L	***	ND	ND	0,4

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Plomo reportado durante la época lluviosa y seca en siete puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.1.14. Zinc

La mayor parte del zinc presente en las aguas residuales no procede de fuentes puntuales, sino que procede principalmente de aguas superficiales ricas en este metal. El zinc también puede ser el producto de procesos industriales, como la industria galvánica, producción de pilas, entre otros.

El valor máximo de carga del zinc lo tiene el punto 2 con un promedio de 0,706 mg/L, los puntos 4, 7 y 8 tienen un valor menor de 0,35 mg/L y el punto 3 tiene un valor promedio de 0,381 mg/L, con estos resultados se determina que todos los puntos muestreados cumplen con el Reglamento para el zinc ya que sus valores están por debajo de 10 mg/L que es el LMP.

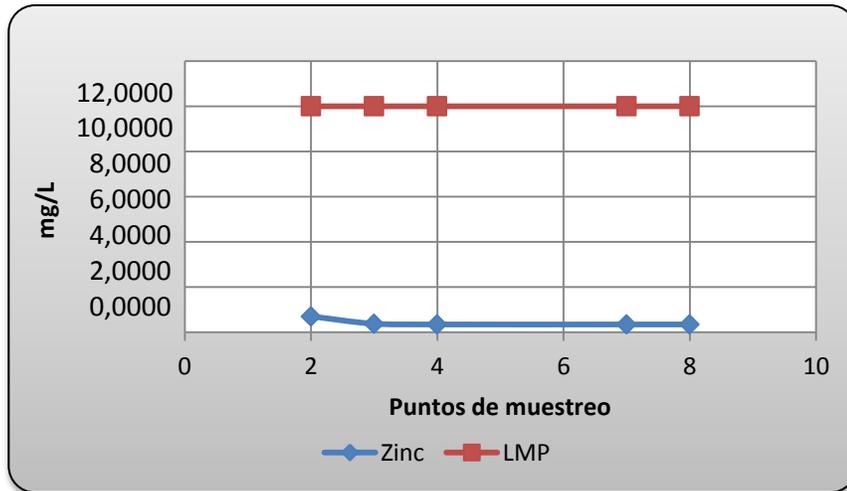
La tabla XXIX contiene los resultados de los análisis para el zinc y en la figura 23 se observa que los valores son mucho menores al LMP.

Tabla XXIX. **Zinc reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**

Punto de muestreo	Unidades	Muestreo metales pesados		Promedio	LMP
		1	2		
2	mg/L	1,062	< 0,35	0,706	10
3	mg/L	0,411	< 0,35	0,381	10
4	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	10
7	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	10
8	mg/L	< 0,35	< 0,35	< 0,35	10

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Zinc reportado durante la época lluviosa y seca en cinco puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

5.2. **Análisis estadístico de los parámetros que miden la calidad del agua**

En la tabla XXX se presenta un resumen de los resultados de los parámetros que miden la calidad del agua de los 9 puntos muestreados, mostrando el valor promedio de la época lluviosa y la época seca.

Se puede observar que los parámetros de las descargas puntuales tienen valores más altos que los tomados directamente del río, debido a que los contaminantes se concentran en las descargas directas y se diluyen en el río.

La descarga del punto 2 es la que aporta mayor contaminación al río, ya que en este punto se vierten las aguas residuales del barrio San Miguel, que es la zona 6 del municipio, y la población es grande en esta zona. La descarga que

aporta menor contaminación al río es la del punto 6, la cual corresponde a las aguas provenientes de la aldea de San Lorenzo El Cubo. Comparando los puntos 1 y 9, los cuales corresponden a muestreos al inicio y fin del municipio, se observa que los parámetros DQO, DBO₅ y color disminuyen por la capacidad de autodepuración del río. Sin embargo, los parámetros de sólidos suspendidos y coliformes fecales aumentan por el aporte de materia fecal que se adiciona al río en el tramo entre estos dos puntos. (Ver tabla XI).

En la tabla XI se observan los resultados del análisis estadístico, el cual incluye los valores de la media aritmética, desviación estándar (S), coeficientes de variación (CV) y valores mínimos y máximos de los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las muestras de aguas residuales, tomadas en 5 descargas de aguas residuales del municipio de Ciudad Vieja y de 4 puntos ubicados en el río Guacalate. (Ver tabla XII).

El coeficiente de variación que tiene los valores más altos corresponde a los parámetros DQO, DBO₅, grasas y aceites y color, con 68,49 % ,68,97 %, 72,76 % y 60,19 % respectivamente. Estos valores representan tanto las descargas puntuales como los muestreos en el río, presentando un rango de valores muy amplio, lo que afecta los valores de la media, desviación estándar y coeficiente de variación. Por esta razón, en las tablas XIII y XIV se muestran los valores del análisis estadístico para las descargas y los puntos en el río de forma separada.

La tabla XIII contiene los datos estadísticos de las descargas puntuales de aguas residuales, los cuales corresponden a los puntos 2, 3, 4, 6 y 7. Estos permitirán comparar los valores promedio de cada descarga con los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento para cada parámetro y verificar de esta manera su cumplimiento.

La DQO tiene una media de 1033,45 mg/L y la DBO₅ de 519,75 mg/L, siendo la relación DQO/DBO₅ de 1,99. Este valor indica que hay una presencia importante de materia orgánica difícilmente biodegradable. El límite máximo permisible (LMP) establecido en el artículo 24 del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales* es de 250,00 mg/L para la DBO₅, por lo que la media sobrepasa este valor y no cumple con el Reglamento. El valor mínimo para la DBO₅ es de 342,00 mg/L y el máximo es de 655,0 mg/L. El coeficiente de variación es de 32,32 % para la DQO y de 20,87 % para la DBO₅, lo que indica que los datos para cada punto muestreado se encuentran cercanos a su media.

Para las grasas y aceites, el LMP es de 50,00 mg/L y la media es de 160,14 mg/L, con lo cual se incumple con el Reglamento para este parámetro. Los valores mínimo y máximo son 36,90 mg/L y 319,7 mg/L respectivamente. La desviación estándar es de 101,74 y el coeficiente de variación de 63,53 %. La variabilidad es grande debido a que los valores de los parámetros en cada punto no siguen un patrón uniforme sino que hay descargas que aportan una concentración alta de grasas y aceites, como el punto 4, mientras que otras tienen una muy baja como en el punto 3.

Los sólidos suspendidos presentan una media de 357,77 mg/L y valores mínimos y máximos de 304,10 mg/L y 453,68 mg/L respectivamente. El LMP es de 275,00 mg/L, por lo que el valor máximo se encuentra muy alejado de dicho límite, sin embargo, la media está por debajo de ese valor. La desviación estándar es de 53,83 y el coeficiente de variación de 15,05 %, por lo que no hay mucha dispersión de los datos respecto a su media.

Para el color, la media es de 2 070,23 U Pt-Co y el LMP es de 1 000,00 U Pt-Co por lo que no se cumple con el Reglamento para este parámetro. El

valor mínimo es de 922,75 U Pt-Co, encontrándose por debajo del LMP y el máximo es de 2 828,80 U Pt-Co, sobrepasando este valor debido a todos los desechos orgánicos e inorgánicos que llevan las aguas residuales. El coeficiente de variación de este parámetro, comparado con el de los nueve puntos muestreados es mucho más bajo (30,46 %), debido a que al caer las descargas al río, los contaminantes se diluyen y presentan diferentes valores en su medición.

Con respecto a los nutrientes, nitrógeno total y fósforo total, se pueden observar valores mínimos y máximos para el nitrógeno son de 2,90 mg/L y 12,15 mg/L, y para el fósforo de 7,34 mg/L y 12,15 mg/L respectivamente. La media para el nitrógeno es de 6,08 mg/L y su LMP es de 150,00 mg/L y para el fósforo la media es de 9,50 mg/L y el LMP es de 40 mg/L. Estos valores son muchos menores que los LMP por lo tanto, las descargas de aguas residuales cumplen con el Reglamento para estos dos nutrientes. La desviación estándar es de 3,62 para el nitrógeno, de 1,72 para el fósforo, y los coeficiente de variación son de 59,56 % para el nitrógeno y de 18,11 % para el fósforo.

Para las coliformes fecales se obtuvo una media de $3,08 \times 10^7$ NMP/100 mL y el LMP es menor de 1×10^7 , por lo tanto, no se cumple con el Reglamento para este parámetro. Los valores mínimo y máximo son de $5,1 \times 10^6$ y $7,4 \times 10^7$ respectivamente. El coeficiente de variación es de 94,15 % debido a que no todas las descargas aportan la misma carga de materia fecal.

Los resultados de los análisis de metales pesados, arsénico, cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc son favorables, ya que los valores no sobrepasan los LMP del Reglamento, los cuales son de 0,1 mg/L para el arsénico y cadmio, de 3 mg/L para el cobre, de 0,02 mg/L para el mercurio, de 2 mg/L para el níquel, de 0,4 mg/L para el plomo y de 10 mg/L para el zinc. Los

valores de las desviaciones y coeficientes de variación son cero para todos, excepto el zinc, ya que no se tienen datos exactos de su valor sino que solo se tienen aproximaciones. El zinc presenta una desviación de 0,15 y un coeficiente de variación de 33,59 %.

En la tabla XIV se muestran los valores de la media, desviación estándar, coeficiente de variación, y valores mínimos y máximos de los parámetros que miden la calidad del agua de los muestreos realizados directamente de las aguas del río.

Los parámetros que cumplen con el reglamento según su media son la DBO₅, sólidos suspendidos, color, nitrógeno total, fósforo total y coliformes fecales, así como todos los metales pesados. Sin embargo, los valores de estos parámetros no representan la contaminación verdadera que se genera sobre el río debido a que las aguas del río permiten la dilución de los mismos.

Los coeficientes de variación son pequeños, siendo de 29,40 % para la DQO, 29,06 % para la DBO₅, 15,44 % para los sólidos suspendidos y de 34,62 % para el color. Las coliformes fecales presentan una mayor variación, la cual es de 101,92 %.

Los resultados de la variabilidad de los datos de las descargas puntuales y de los puntos sobre el río, comparados con los resultados generales de los nueve puntos muestreados, demuestran que, como consecuencia de los valores bajos de los parámetros de muestreos en el río, la dispersión de los datos respecto a su media será mayor para los análisis generales.

5.3. Caracterización de Ciudad Vieja, Sacatepéquez (Línea base)

Ciudad Vieja es un municipio del departamento guatemalteco de Sacatepéquez y tiene una altura de 1 550 metros sobre el nivel del mar.

5.3.1. Datos históricos

La capital del Reino de Guatemala, llamada Santiago de Guatemala, se asentó en el valle de Almolonga el 22 de noviembre de 1527, lo que ahora se conoce como Ciudad Vieja. El primer asentamiento de la capital fue en Iximché (ahora Tecpán) en 1524, pero debido a que los caqchikeles se revelaron ante los españoles por las excesivas demandas tributarias que imponía don Pedro de Alvarado. Don Jorge de Alvarado, hermano de don Pedro de Alvarado, quien estaba de lugarteniente en ese momento, decidió trasladar la ciudad (Santos, s. f.).

La nueva ciudad fue ubicada en las faldas del volcán Hunapú (volcán de Agua), ya que se consideraba un lugar más adecuado para defenderse de los ataques de los caqchikeles. En la fecha del asentamiento se conmemora la festividad de Santa Cecilia, virgen y mártir; y se señalan los solares destinados a la iglesia de Santiago Apóstol, bajo cuya protección quedó asentada la ciudad, el hospital de las Misericordias para pobres y peregrinos, una capilla y un oratorio bajo la advocación de Nuestra Señora de los Remedios, otro para la construcción de una fortaleza, casa de cabildo, cárcel y otros que se estimó necesarios (Santos, s. f.).

Janos de Szpecsy, en su obra *Santiago de los Caballeros de Guatemala, en Almolonga* publicada en 1953; sitúa al Valle de Almolonga, conocido también con el nombre de Quinicilapán, hacia el oriente de la actual Ciudad Vieja,

precisamente en el actual barrio de San Miguel Escobar, como lo revelaron los estudios y excavaciones realizados en ese sector. Este fue el lugar donde don Jorge de Alvarado asentó la Ciudad de Santiago de Guatemala y por la orientación que presenta la actual iglesia de San Miguel, es casi seguro que fue allí donde el primer obispo de Guatemala, licenciado don Francisco Marroquín, construyera la primera iglesia dedicada al apóstol Santiago, patrono de la Ciudad. Además, el papa Paulo III, por bula pontificia de 18 de diciembre de 1534, fechada en Roma, otorgó la categoría de ciudad a la Villa de Santiago de Guatemala y a su iglesia la jerarquía de Catedral, bajo la advocación del apóstol Santiago (Santos, s. f.).

Quince años después de haberse asentado la ciudad en Almolonga, ocurrió una gran inundación, el 11 de septiembre de 1541, que descendió del volcán de Agua, destruyendo la ciudad y donde murió doña Beatriz de la Cueva, gobernadora del reino, el séquito de sus doncellas y numerosos vecinos. Atemorizados, los sobrevivientes a esa tragedia decidieron buscar un nuevo paraje más alejado del volcán y, siendo gobernadores interinos del reino, el obispo de Guatemala, licenciado Francisco Marroquín, y don Francisco de la Cueva, acordaron asentar la Ciudad de Santiago de Guatemala en el valle de Panchoy (hoy Antigua Guatemala) el 22 de octubre de 1541 (Santos, s. f.).

5.3.2. Costumbres y tradiciones

La fiesta titular de Ciudad Vieja se lleva a cabo el 8 de diciembre en honor a la Inmaculada Virgen de Concepción, llamada cariñosamente la Chapetona. Inicia con la elección y coronación de la señorita Ciudad Vieja y luego se realiza un baile social, en el cual puede participar toda la población.

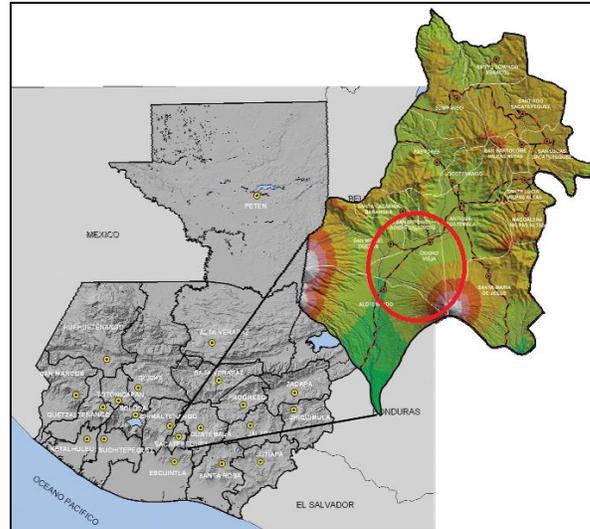
El 8 de diciembre se realiza una serenata en honor a la Virgen y a las 10:00 a.m. se celebra la misa, mayor con la posterior quema de pólvora. Después de la misa todos los bailes folklóricos hacen una presentación frente a la catedral. Los bailes más populares son el de Los 24 Diablos, Los Ángeles Caídos, Las 7 Virtudes, El Rey Quiché, Los Toritos y La Conquista. Por la tarde, sale el rezado de la Virgen que pasa por las calles del pueblo de Ciudad Vieja, donde los vecinos realizan las coloridas alfombras y presentan loas (representaciones teatrales). La quema de pólvora durante el recorrido por las calles y avenidas del pueblo anuncian el paso de la Santísima Virgen.

5.3.3. Ubicación geográfica

Ciudad Vieja es un municipio del departamento de Sacatepéquez, situado en la región central de este, como se muestra en la figura 24. Tiene un área aproximada de 51 km². Colinda al norte con Parramos (Chimaltenango) y San Antonio Aguas Calientes (Sacatepéquez); al este con Santa María de Jesús y Antigua Guatemala (Sacatepéquez); al sur con Palín y Escuintla (Escuintla); al oeste con San Miguel Dueñas y Alotenango (Sacatepéquez) (DGN, 2000).

El monumento de elevación (BM) del IGN en el parque, frente a la municipalidad y la iglesia parroquial está a 1 518,74 msnm, a una latitud de 14°31'26" y longitud de 90°45'42" (DGN, 2000).

Figura 24. **Ubicación de Ciudad Vieja, Sacatepéquez**



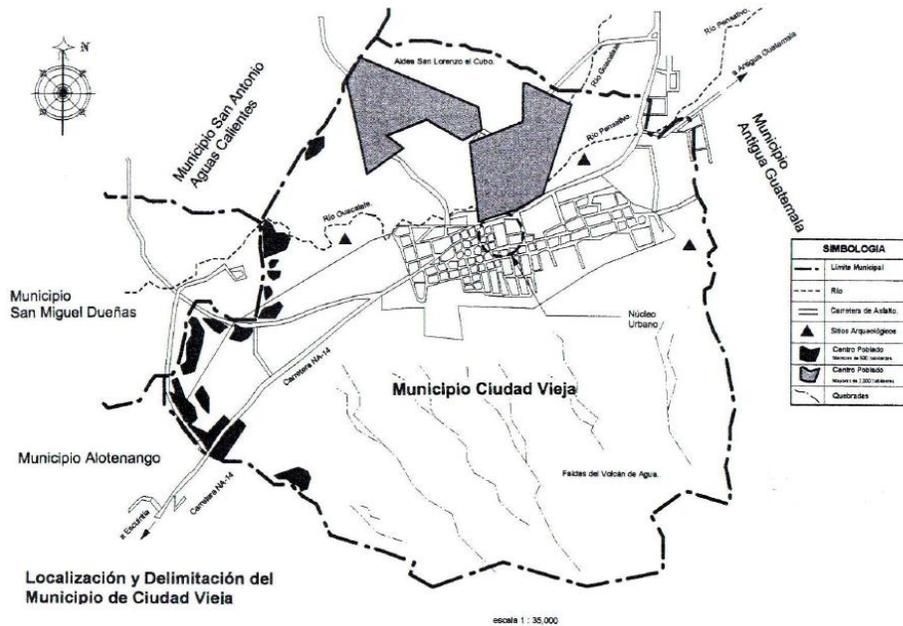
Fuente: MAGA. *Ciudad Vieja Sacatepéquez*. <https://www.google.com.gt/ciudad+vieja+sacatepequez>. Consulta: julio de 2014.

5.3.4. División políticoadministrativa

La principal autoridad del municipio es el alcalde, el cual es elegido cada cuatro años, y es el que encabeza el Concejo Municipal formado por dos síndicos, cuatro concejales y un alcalde auxiliar.

Ciudad Vieja cuenta con 6 zonas y, dentro de su jurisdicción, se encuentran la aldea de San Lorenzo El Cubo, el caserío Bosarreyes y el barrio San Miguel Escobar, el cual es parte de la zona 6 del municipio. Además, el pueblo tiene 3 residenciales: Alameda de Don Vicente, La Joya y Las Flores; 4 condominios: Villa Alcántara I y II, el Cortijo de las Flores y Hacienda San Jerónimo; 10 lotificaciones: Villas del Hermano Pedro, Villas de Santiago I y II, San Francisco, San José, San José Miralvalle, Vista al Valle, Santa Ana, Los Girasoles y Los Chulupitos; y 5 fincas: El Potrero, Bella Vista, La Esperanza, Santa Inés Medina y Los Valles.

Figura 25. **Municipio de Ciudad Vieja, Sacatepéquez**



Fuente: INE. *Departamento de Cartografía. Municipio de Ciudad Vieja, Sacatepéquez.* p. 20.

5.3.5. Demografía

Según las proyecciones realizadas por el INE para el año 2010, la población total del municipio sería de 34 147 habitantes; con 17 341 mujeres y 16 806 hombres. La población indígena se proyecta a 791 habitantes y no indígena a 33 356. Los habitantes que viven en el área urbana son 28 752 y en el área rural 5 395.

5.3.6. Economía

La economía del municipio se basa principalmente en actividades como la agricultura, la industria a pequeña escala y la artesanía. Los principales

productos agrícolas son el café, maíz, frijol, caña de azúcar, papa, arveja, güicoy, zanahoria, rábano, remolacha, chile pimiento, tomate, ejote, banano, limón, níspero, manzana, pera, naranja, durazno, aguacate, macadamia y muchas frutas y verduras más.

La producción industrial se basa en la cerería y cohetería, fabricación de instrumentos musicales y productos de latón. Su artesanía consiste principalmente en la fabricación de muebles de madera y en la fabricación de cajas mortuorias. Hay muchos talleres de mecánica y de enderezado y pintura, y un pequeño porcentaje de la población trabaja en su profesión.

5.3.7. Educación

Ciudad Vieja cuenta con escuelas públicas y privadas, que proporcionan educación a un porcentaje de la población. Sin embargo, aún existe un porcentaje alto de analfabetismo. Entre los centros educativos públicos están: la Escuela de Niñas Francisco Marroquín, la Escuela Nacional Primaria de Varones Fray Matías de Paz, Escuela Rural Mixta de San Miguel Escobar y la Escuela de San Lorenzo el Cubo.

5.3.8. Idioma

Debido a que la población de Ciudad Vieja es en su mayoría ladina, el idioma que más se habla es el español. Sin embargo, una parte de la población también habla el idioma caqchikel.

5.3.9. Religión

La religión predominante en Ciudad Vieja es la católica, la cual se practica con mucha devoción por los pobladores. Existen cofradías encargadas de planificar y realizar las actividades religiosas como las que se llevan a cabo durante la Semana Santa, la celebración de la Virgen de Concepción, el Señor de Esquipulas, el Corpus Cristi, entre otras.

Además de la religión católica, también se practica la protestante, la de la Iglesia de Jesucristo de los Santos de los Últimos Días y, con un número menor de fieles, los Testigos de Jehová.

5.3.10. Orografía

La elevación más importante que tiene Ciudad Vieja es el volcán de Agua (ver figura 26), con una altura de 3 766 msnm. Además del volcán de Agua, el municipio cuenta con varios cerros que lo rodean, formando un valle, por lo que en el pasado se le llamaba Valle de Almolonga.

En Ciudad Vieja se encuentran zonas montañosas, quebradas, llanuras, entre otros, confiriéndole al municipio una amplia variación en el relieve de su suelo. Entre las elevaciones más importantes están el Cerro Nacoj, el Cerro Tzuluj, el Cerro Comunal y el Cerro El Olvido con alturas no mayores a 2 200 metros.

5.3.11. Hidrografía

El único río que atraviesa el municipio es el río Guacalate, el cual tiene una longitud aproximada de 95 kilómetros desde sus afluentes en el

departamento de Chimaltenango hasta el municipio de Ciudad Vieja. En este punto se le une el río Pensativo, que viene de Antigua Guatemala, y juntos continúan su recorrido hasta Escuintla, perteneciendo ambos a la cuenca del río Achiguate. También posee los riachuelos El Cubo y El Potrero, y el manantial El Socorro (Santos, s. f.).

Figura 26. **Volcán de Agua**



Fuente: Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

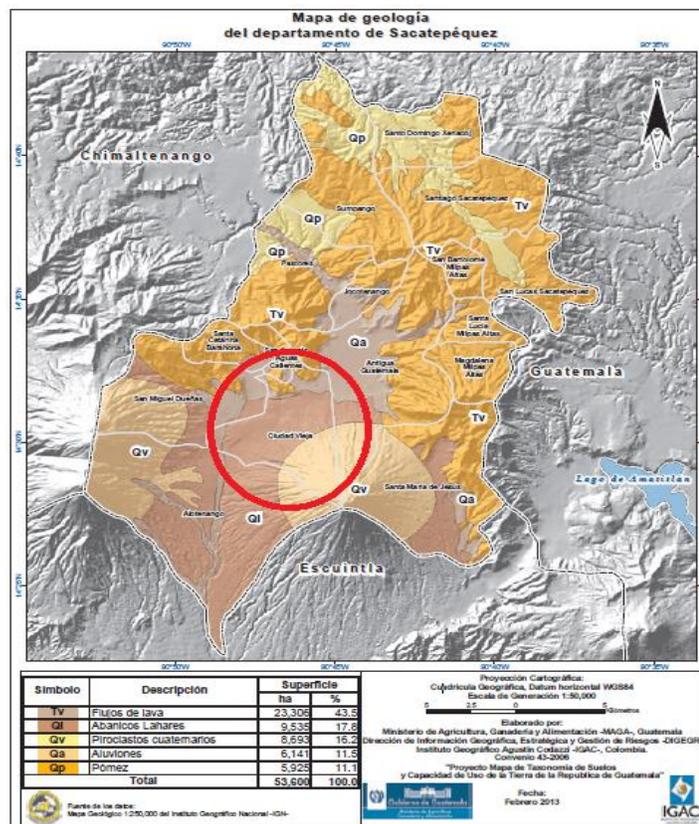
5.3.12. Geología

El suelo de Ciudad Vieja está conformado por materiales volcánicos del terciario y cuaternario, abanicos laháricos y fluviales del cuaternario y aluviones del cuaternario. Las principales rocas que conforman los materiales volcánicos del terciario son la andesita, dacita y riolita, todas de origen ígneo. Además se encuentran las tobas, flujos de lava, materiales laháricos, sedimentos

volcánicos, piroclastos y lodos provenientes de los complejos estratovolcánicos (MAGA, 2013).

Entre los abanicos laháticos y fluviales del cuaternario se encuentran los basaltos andesíticos, andesitas, dacitas y riódacitas. Los lahares son depósitos formados por un flujo de origen fluviovolcánico, caracterizados por tener materiales gruesos y finos mezclados que fluyen a gran velocidad sobre las laderas de los volcanes (MAGA, 2013).

Figura 27. **Mapa geológico del departamento de Sacatepéquez**



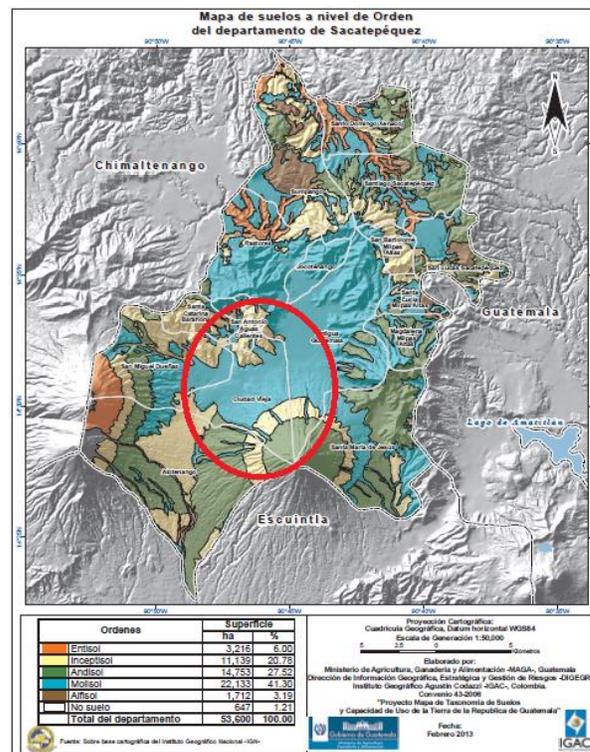
Fuente: IGN. *Mapa geológico del departamento de Sacatepéquez*. p.11.

Los aluviones del cuaternario incluyen fragmentos de roca de tamaño variable que van desde limos a gravas. Se distribuyen en zonas bajas de acumulación, producto de la meteorización y disgregación de materiales sólidos de las partes altas hacia las bajas (MAGA, 2013).

5.3.13. Suelos

El municipio está constituido por tres tipos principales de suelos, como se observa en la figura 28. Los suelos que se encuentran en las faldas del volcán de Agua son del orden andisol, los que se encuentran en la parte media son inceptisol y los de las partes bajas son de orden molisol (MAGA, 2013).

Figura 28. **Mapa de suelos del departamento de Sacatepéquez**



Fuente: IGN. *Mapa geológico del departamento de Sacatepéquez*. p.13.

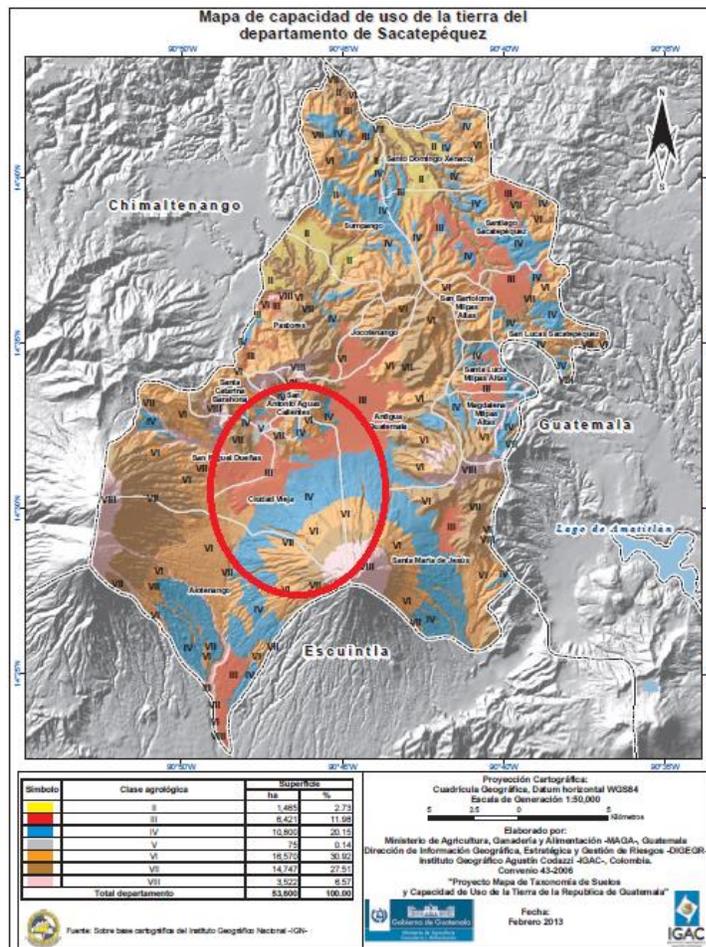
5.3.14. Vocación de los suelos

Los suelos del municipio son principalmente de clase III, IV y VI, como se observa en la figura 29, los cuales tienen principalmente vocación forestal y son aptos para varios tipos de cultivo.

Los de clase III tienen moderadas limitaciones y restricciones de uso. Las limitaciones de los suelos restringen la cantidad de cultivos que podrían realizarse y definen prácticas de conservación de suelos. Las pendientes van desde ligeramente planas (0-3 %), ligeramente inclinadas (3-7 %), hasta moderadamente inclinadas (7-12 %). Se presenta en climas semifrío húmedo, semifrío subhúmedo, templado subhúmedo y semicálido húmedo, en altitudes comprendidas entre 650 a 2 200 msnm, con rangos de temperatura media anual de 13 °C a 21 °C y precipitaciones entre 800 y 3 100 mm anuales. Los cultivos que se dan en estas tierras son los granos básicos (maíz, frijol), cultivos de hortalizas con especies como arveja china, ejote francés, brócoli, acelga, espárragos, puerro y fresa. A su vez, presenta vocación para la ganadería intensiva (MAGA, 2013).

Los suelos de clase IV tienen limitaciones severas para uso en la agricultura y requieren cuidadosas prácticas de manejo para su conservación, son de vocación agrícola y deben considerarse los cultivos permanentes. Se pueden utilizar en pasturas mejoradas, especies perennes y plantaciones diversas. Las pendientes predominantes corresponden a fuertemente inclinadas (12-25 %). Presenta varios tipos de clima: semicálido húmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, semifrío húmedo, semifrío subhúmedo, con rangos de temperatura media anual que oscilan entre los 12 a 21 °C, precipitaciones anuales comprendidas entre los 800 a 3 100 mm y altitudes que varían desde 800 a 2 300 metros sobre el nivel del mar (MAGA, 2013).

Figura 29. Capacidad de uso de la tierra de Sacatepéquez

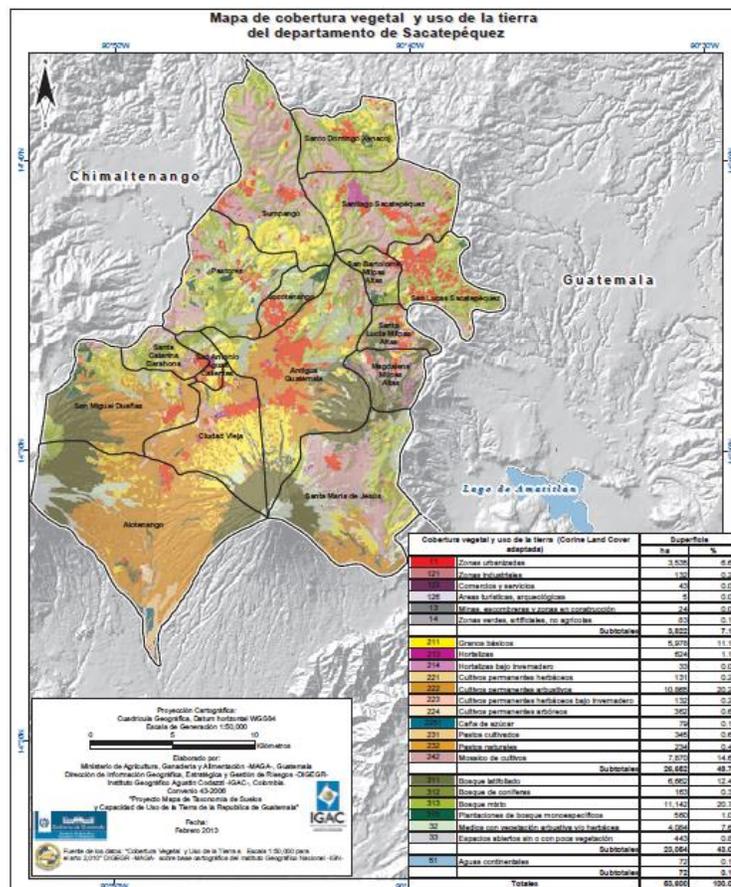


Fuente: IGN. *Mapa geológico del departamento de Sacatepéquez*. p.13.

Los suelos de la clase VI tienen limitaciones muy severas que restringen la selección de plantas y requieren cuidadosas prácticas de manejo. Esta clase expresa una vocación agroforestal principalmente, con un cultivo importante desde el punto de vista socioeconómico: el café bajo sombra. Asimismo, presenta vocación para el establecimiento de sistemas silvopastoriles, donde la ganadería extensiva se realiza bajo la cobertura boscosa existente. Las pendientes dominantes son las ligeramente escarpadas (25-50 %). Los climas

son variados: frío húmedo, frío subhúmedo, semifrío húmedo, semifrío subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, con rangos de temperatura media anual que varían desde 10 a 21 °C y precipitaciones comprendidas entre los 800 a 2 900 mm anuales y en altitudes entre los 700 a los 2 700 msnm. Los cultivos predominantes son el café bajo sombra, granos básicos, hortalizas, mora, aguacate, árboles frutales, plantaciones arbóreas y plantaciones forestales (MAGA, 2013).

Figura 30. **Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra del departamento de Sacatepéquez**

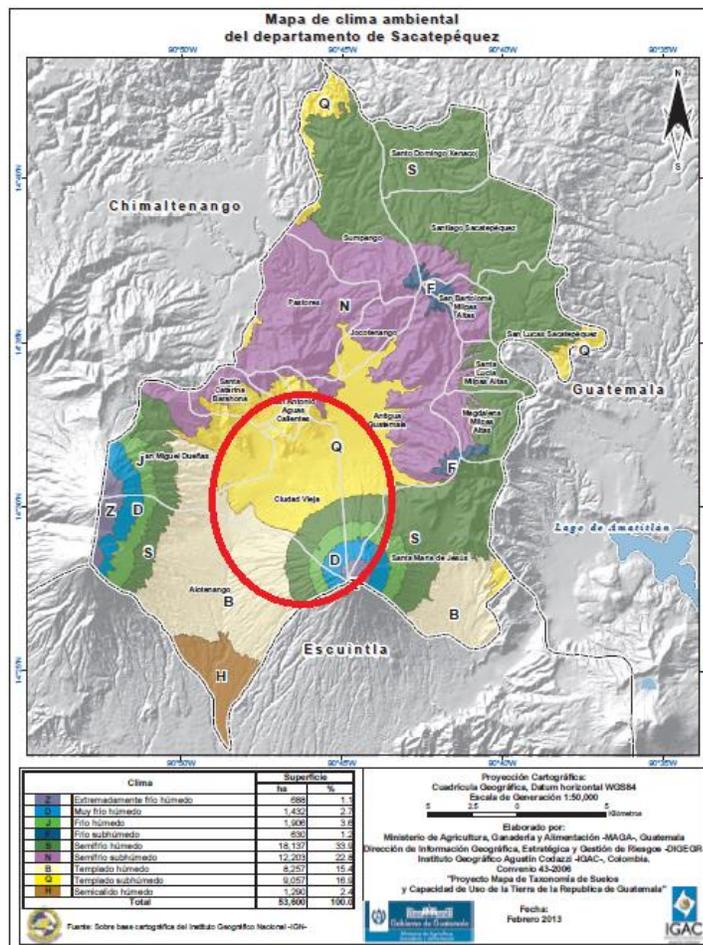


Fuente: IGN. *Mapa geológico del departamento de Sacatepéquez*. p.15.

5.3.15. Clima

Los parámetros climatológicos de Ciudad Vieja, Sacatepéquez se registran a través de la estación meteorológica Suiza Contenta, ubicada en la finca Suiza Contenta del municipio de San Lucas, Sacatepéquez. Dicha estación meteorológica es de tipo C, ya que solo registra datos de temperatura, precipitación y evaporación, y tiene datos de aproximadamente 20 años.

Figura 31. Mapa de la clasificación climática de Sacatepéquez



Fuente: IGN. *Mapa geológico del departamento de Sacatepéquez*. p.16.

Las dos temporadas climáticas son la época seca, que comprende los meses de diciembre a abril, y la época lluviosa, que va de mayo a noviembre. El clima es templado con invierno benigno y poca humedad. Este tipo de clima es beneficioso para la siembra de productos como café, maíz, frijol y hortalizas. (Insivumeh, 2013).

5.3.15.1. Temperatura

El dato menor de temperatura mínima corresponde al 2004, con una temperatura de 5,2 °C y el dato mayor corresponde al 1992 siendo la temperatura de 11,2 °C. El promedio anual de temperatura mínima es de 8,4 °C.

Tabla XXX. **Temperaturas mínimas en grados Celsius**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	7.7	8.2	10.2	9.1	10.4	10.5	9.9	11.2	11.3	10.8	9.6	9.2	9.8
1991	10.8	10	8.1	10.6	12.0	11.8	12	12	11.9	11.5	***	9.1	10.8
1992	8.8	9.9	10.6	10.8	12.2	12	12	13.2	13.4	13.9	9.5	8.4	11.2
1993	7.4	6.7	8.2	10.8	10	9.9	10.4	10.8	10.8	10.5	10.6	10.5	9.7
1994	10.4	10.7	10.7	10.7	11	11.9	11.2	11.8	11.7	11.2	10.7	10.6	11
1995	6.4	***	6.6	10	10	12	10.6	13.5	11.8	5	8.4	8.7	9.4
1996	5.7	5.4	4	10.7	11.5	12.1	12.5	11	11.8	11.5	9.6	7.2	9.4
1997	6.8	6	5.9	7.3	5	9.4	9.7	9.5	9.7	8.1	***	7.9	7.8
1998	4.9	3.8	5.4	6.9	8.5	8.7	8.8	10.5	5	7.2	5.7	2.3	6.5
1999	2.3	5.2	4.8	8.7	10.5	9.3	9.3	10.4	10.7	9.5	5.7	5	7.6
2000	2.6	2.6	3.8	6.3	9.2	10.1	9.3	8.2	9	7.6	5.4	2	6.3
2001	1.6	***	1.9	4.8	9.2	8.5	7.4	7	7.4	7.2	4.7	5.9	6
2002	4.7	4.8	6	8.4	8	9.2	8.8	8.4	8.2	8.6	5.7	5.6	7.4
2003	5.2	4.1	5.6	6	8.7	9.6	9.4	8.8	8.6	8.7	4.9	1.9	6.8
2004	3.4	2.9	3.3	4.9	7	***	***	***	***	7.6	6.5	6	5.2
2005	3.2	4	5.5	7.6	9.5	10.5	9.6	9.7	10.7	9.8	7	6.3	7.8
2006	6	6	6	7	9	10	10	9.4	9.5	10	6.3	8	8.1
2007	6	5	7	9	9	11	11	11	11	11	8.6	6.5	8.8
2008	6.4	7	8	9	10	11	10	10	13	11	7.2	7	9.1
2009	6	6.4	5.2	8.5	11.5	11	11.3	11	11.3	11	9	7	9.1
2010	6.7	8.5	8.1	11	12.4	11.8	11.6	12.1	11.8	4	9.4	4.8	9.4

Fuente: Insivumeh. *Temperaturas mínimas en grados Celsius*. p. 21.

Según la tabla XXXV, la temperatura media anual registra la temperatura más baja en el 2004, con 16 °C y la más alta en 1997, con una temperatura de 20,3 °C. La temperatura media promedio anual registrada es de 18,18 °C.

Tabla XXXI. **Temperaturas medias en grados Celsius**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1997	***	***	***	22	19.6	20	20.4	19.6	***	***	***	20	20.3
1998	21.0	21.2	21	23	20	18.1	18.7	18	16.1	14.5	15	14.3	18.4
1999	12.0	20.1	20.5	21.6	20.9	18.6	18.2	19.3	18.5	17.2	16.5	20.2	18.6
2000	19.1	19.7	21.2	21.5	21.1	20.5	20	21.7	20	***	17.8	17.2	20
2001	18.5	***	20.1	20.7	19.8	19.6	19.2	18.3	18.1	18	18.3	19.1	18.5
2002	18.9	18.4	18.6	20.2	18.3	18.4	18.7	18.8	18.6	19.6	17.3	17.1	18.6
2003	17.5	18	20.5	21.1	19.2	18.8	19	19.6	19.8	18.6	***	***	19.2
2004	14.9	17.6	17.3	18	***	***	***	***	***	16.9	14.2	12.8	16
2005	12	14.2	15.9	17.8	18.6	17.6	17	17	17	16	14.5	15	16.1
2006	14	14	15	16	18	17.1	18	17.6	17	16.2	15.4	15.4	16.1

Fuente: Insivumeh. *Temperaturas mínimas en grados Celsius*. p. 21.

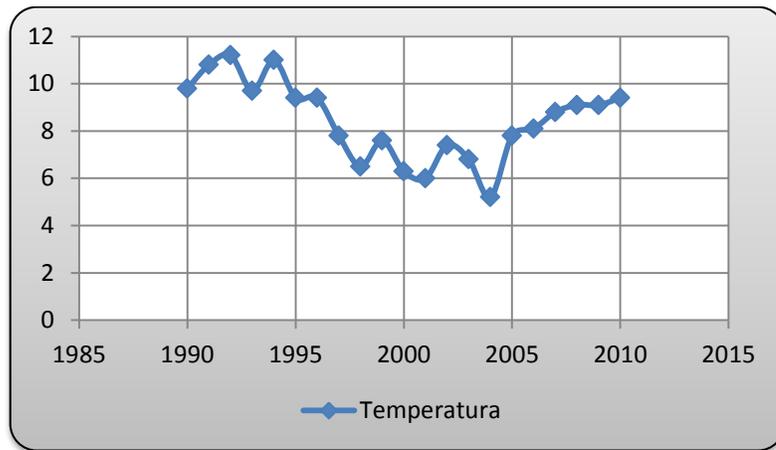
Tabla XXXII. **Temperaturas máximas en grados Celsius**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	20.4	20.5	20.4	20.2	20.6	20.7	20.6	20.1	20	20.4	19.7	20.5	20.4
1991	19.9	20.3	21	20.5	20.7	20.3	21.2	21.4	21.1	21.2	***	21.2	20.8
1992	20.3	21.2	21.6	21.3	21.3	20.6	20.7	21.1	20.8	21.1	21.3	19.9	21
1993	20.3	20.8	20.4	21.3	21	19.4	19.6	19.5	21.2	20.6	20.9	20.9	20.4
1994	20.2	20.8	21.1	21.1	21.1	21.2	19.1	20.9	21.5	20.6	19.7	20.8	20.8
1995	21.7	***	22.6	23.3	24.1	23.2	22.7	21.5	20.8	20.9	21	21.1	22.1
1996	20.8	21.3	21.9	21.6	20.8	20.7	20.1	20.7	21.4	21.4	20.5	20	20.9
1997	20.2	20.5	23.4	23.9	24	21.8	20	21.3	21	22.1	***	21.9	21.8
1998	21.5	22.4	22.6	24.5	22.5	21.7	22.2	21	21	21	20.2	19.2	21.7
1999	19.2	22.1	22.8	22.1	20.3	20.4	21	20.2	20	19.9	20.2	20	20.7
2000	19.1	19.7	21.2	21.5	21.1	20.5	20.5	21.7	21.4	21	20.5	18.9	20.6
2001	20	***	22.3	22.9	21.5	21.5	21.1	20.8	20.7	20.9	20.9	21.1	21.2
2002	20.9	22	21.5	23.7	20.5	21.2	21.4	21	20.6	21.4	20.1	20.2	21.2
2003	20.5	21.2	23.3	23.7	22.2	22	21.8	22.3	23.3	22.1	21	20	22
2004	19.5	22.8	21.6	23.7	***	***	***	***	***	23.9	21.6	21.3	22.1
2005	20.3	21.8	24	24.5	23.2	22.9	22.7	22.5	22.3	21.3	20.3	21.4	22.3

Fuente: Insivumeh. *Temperaturas mínimas en grados Celsius*. p. 21.

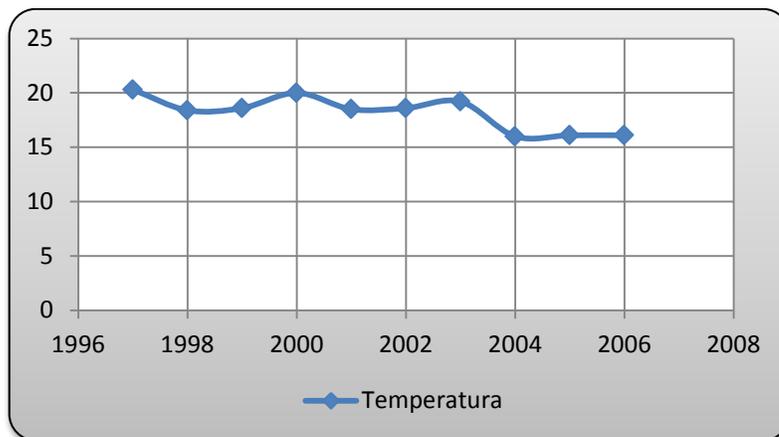
La temperatura máxima anual registrada entre los años 1990 al 2005 no tiene grandes variaciones como se observa en la tabla XXX, obteniéndose un promedio de 21,25 °C.

Figura 32. **Temperatura mínima anual en grados Celsius**



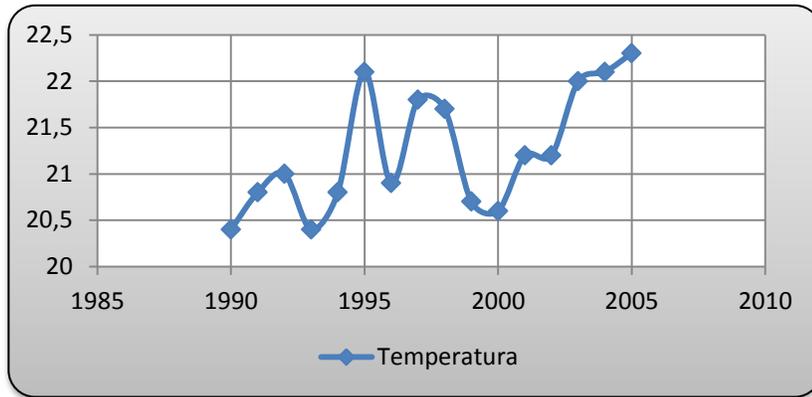
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Temperatura media anual en grados Celsius**



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Temperatura máxima anual en grados Celsius**

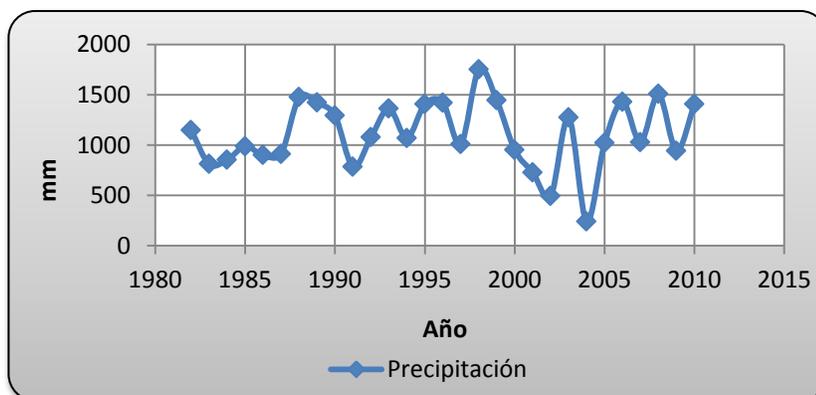


Fuente: elaboración propia.

5.3.15.2. Precipitación

En la figura 35 se puede observar la tendencia que ha tenido la precipitación del 1982 al 2010.

Figura 35. **Precipitación anual en milímetros**



Fuente: elaboración propia.

Los registros de precipitación de la tabla XXXVI muestran que los meses con mayor lluvia van de mayo a octubre, descendiendo drásticamente en el mes de noviembre. Los meses secos corresponden a diciembre, enero, febrero y marzo.

El año que presentó mayor precipitación fue 1998 con una precipitación de 1 753,7 mm y el de menor precipitación fue el 2002 con 491,6 mm, ya que el año 2004 no se puede tomar de referencia porque se desconocen los datos de precipitación de los meses de más lluvia. La precipitación media anual es de 1 109,27 mm.

Tabla XXXIII. **Precipitación anual en milímetros**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1982	0	0	0	0	135	194	193	32.1	565	26.8	1.2	0	1147.6
1983	5.6	80	32.6	0	8.9	252	149	71.9	115	60.5	35.1	0	811.1
1984	0	0	5	5	175	120	132	195	189	32.9	0	0.8	854.7
1985	0	7	17.2	0	234	199	42.9	166	258	64.1	0.2	0	988
1986	0	0	0	31.2	168	183	154	204	135	25.3	0	0	900
1987	0	0	0	0	60.7	263	233	138	213	5.1	0	0	912.3
1988	0	0	0	0	48.1	***	293	514	363	253	6.5	0	1476.5
1989	0	12.4	0	58.2	122	159	264	218	443	107	41.7	0	1424.6
1990	0	8	0	0	100	448	253	246	147	63.8	25.7	0	1292.2
1991	0	0	0	10.6	180	384	18.4	102	41.8	47.3	***	0	784.4
1992	0	0	59.8	22.2	36.3	344	99.8	117	260	120	19	0	1077.6
1993	0	0	22.8	16.2	148	299	208	396	103	171	0	0	1363.9
1994	3.9	9.9	52	3.7	193	136	126	284	126	118	9	8	1070.6
1995	0	0	5.3	43.8	99.5	238	233	276	374	92.6	30.6	15.9	1408.5
1996	24.4	6.6	1.5	93.2	181	274	264	222	272	32.3	44.2	4.9	1421
1997	11.8	9.1	1.7	24.8	64.9	273	55.2	101	400	67.2	***	0	1008.9
1998	0	0	4.3	0	71	273	291	271	180	365	299	0	1753.7
1999	0	0	8	17	70.4	359	398	274	214	92.3	5.1	7.4	1446.4
2000	0	0	23.5	20	188	232	97.8	178	181	24.2	2.5	4.4	951.1
2001	0	4.9	6.7	0	105	89.2	240	162	41.8	56.7	11.2	11.3	728.1
2002	0	0	0	0	60	122	55.1	94	103	44.6	13	0	491.6
2003	0	13	2.3	27.5	230	232	240	104	272	145	11.5	0	1276.2
2004	4.4	6.9	6.9	35.3	***	***	***	***	***	176	9.2	1.1	239.9
2005	1.5	0	4	23	72.4	187	344	108	161	100	9.6	11.7	1022.2
2006	9.3	2.1	2.2	53.7	205	362	170	146	208	221	34.4	18.9	1431.3
2007	7.7	0	0	9.3	32.5	218	242	197	215	88.7	14.5	4.6	1028.4
2008	1.3	5.4	4	9.5	108	433	368	172	283	125	0	0	1507.8
2009	0	6.2	1.9	4.7	138	188	99.8	152	122	69.8	124	38.9	943.8
2010	0.6	0	0.3	40.5	308	228	223	354	253	***	***	***	1406.5

Fuente: Insivumeh. *Temperaturas mínimas en grados Celsius*. p. 21.

5.3.15.3. Evaporación

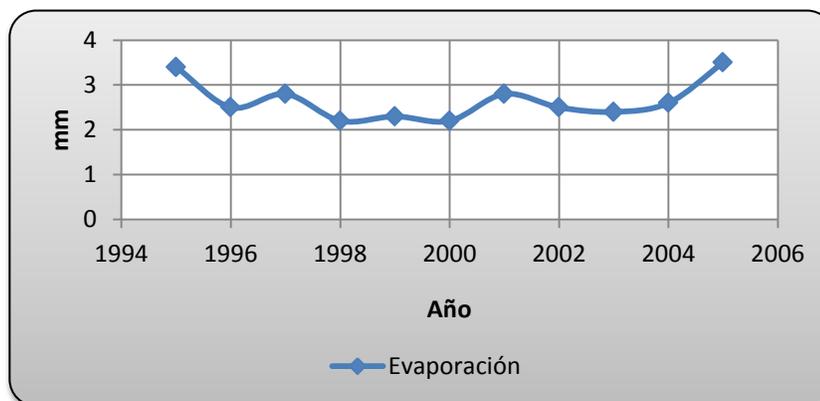
En la tabla XXXII se observa que el dato menor de evaporación corresponde a los años 1998 y 2000 con un valor de 2,2 mm y el mayor al 2005 con un valor de 3,5 mm. El promedio de evaporación anual es de 2,7 mm.

Tabla XXXIV. **Evaporación anual en milímetros**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1995	2.6	***	4.2	3.3	3.4	4.5	4.5	3.9	4.2	2.4	2.3	2.3	3.4
1996	2.7	2.1	2.1	2.1	2.4	2.6	2.2	2.7	2.6	2.8	2.8	2.8	2.5
1997	2.4	2.3	2.5	2.4	2.7	4.5	3.2	2.6	2.8	2.1	***	***	2.8
1998	2.3	2.4	3	2.6	2.5	1	2	1.6	2.5	1.3	2.6	2.6	2.2
1999	2.4	2.3	3.1	2.8	2.5	2.3	2.6	1	2	2	2.5	2.5	2.3
2000	2.5	2.4	2.3	2.2	1.8	2	2	2.6	***	***	***	***	2.2
2001	2.2	***	2.6	2.5	***	***	***	2.4	4.4	1.8	2.4	2.3	2.8
2002	2.5	2.6	2.5	2.5	2.7	3	2.4	2.4	1.9	2.2	---	***	2.5
2003	***	***	***	***	2.2	2.6	4.5	2	1.4	1.8	---	***	2.4
2004	2.6	2.4	2.3	2.5	***	***	***	***	***	4.7	1.7	1.7	2.6
2005	2.5	3.5	5	4.6	3.8	2.3	3.2	3.3	2.9	***	***	***	3.5

Fuente: Insivumeh. *Temperaturas mínimas en grados Celsius*. p. 21.

Figura 36. **Evaporación anual en milímetros**

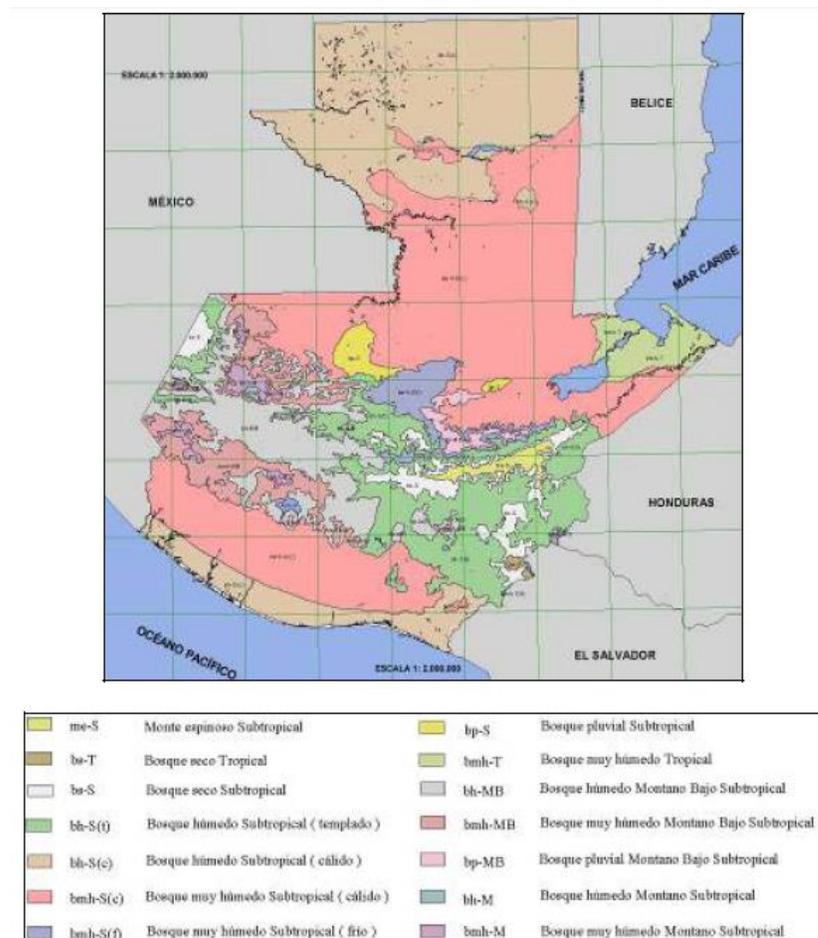


Fuente: elaboración propia.

5.3.16. Zonas de vida

Ciudad Vieja cuenta con 3 zonas de vida basándose en el sistema de clasificación de Holdridge, las cuales son: el bosque muy húmedo subtropical cálido, bosque húmedo montano bajo subtropical y bosque muy húmedo montano bajo subtropical.

Figura 37. Localización de las zonas de vida para Guatemala según Holdridge



Fuente: MAGA. *Unidad de políticas e información estratégica*. p. 34.

- Bosque muy húmedo subtropical cálido

Esta zona de vida se caracteriza por tener un clima cálido, con relieves planos a accidentados, precipitaciones entre 2 136 a 4 327 mm, la biotemperatura es de 21 a 25 °C y elevaciones entre 80 a 1 600 msnm. Entre la vegetación indicadora, se encuentran las de categoría mixta y latifoliada compuestas por las especies volador (*Terminalia oblonga*), conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), puntero (*Sickingia salvadorensis*), mulato (*Triplaris melaenodendrum*), palo blanco (*Cybistax donnell-smithii*) y chaperno (*Andira inermis*) (MAGA, 2013).

- Bosque húmedo montano bajo subtropical

Esta zona de vida se caracteriza por tener un clima frío, con pendientes generalmente planas, elevaciones entre los 1 500 y 2 400 msnm. La precipitación pluvial de la zona está comprendida entre los 1 057 y 1 580 mm y la biotemperatura entre 15 y 23 °C. Entre la vegetación indicadora se pueden mencionar las de categorías mixtas, latifoliadas y conífero, compuestos por las especies indicadoras típicas del altiplano, las cuales son encino (*Quercus* spp.) generalmente asociados a pino triste (*Pinus pseudostrobus*) y pino macho (*Pinus montezumae*), otras especies que se consideran indicadoras son aliso (*Alnus jorullensis*), duraznillo (*Ostrya* spp.), mezché (*Carpinus* spp.) y capulín (*Prunus capuli*) (MAGA, 2013).

- Bosque muy húmedo montano bajo subtropical

Esta zona de vida tiene un clima frío, cuenta con una precipitación pluvial de 2 065 a 3 988 mm, la biotemperatura es de 12,5 a 18,6 °C, con una altura sobre el nivel del mar de 1 800 a 3 000 m. Entre la vegetación indicadora están

las de categoría mixta y latifoliadas, compuestos por las principales especies indicadoras, las cuales para las partes más altas son ciprés común (*Cupressus lusitanica*), mano de león (*Chiranthodendron pentadactylon*), pino blanco (*Pinus ayacahuite*) y pino triste (*Pinus pseudostrobus*), otras especies que pueden aparecer en las partes medias y bajas de la zona son aliso (*Alnus jorullensis*) y encino (*Quercus* spp.) (MAGA, 2013).

5.3.17. Flora y fauna

En las tres zonas de vida de Holdridge para el departamento de Sacatepéquez, se encuentran 42 familias y 88 especies de plantas arbóreas, arbustivas y herbáceas. Asimismo, se han identificado 40 familias de plantas medicinales, que abarcan 87 especies.

La cobertura forestal está conformada principalmente por especies de cedro, ciprés, pinabete, lama, encino, roble, eucalipto, gravilea, manzanal, peral, naranjal, jocotal, pie de gallo, pascua, exofilias, quiletos y chipilín (MAGA, 2013).

La fauna característica del municipio es el coyote, gato de monte, comadreja, jabalí, venado, tepezcuintle, mapache, conejo, zanate, zopilote, serpientes, ardillas, tacuacines y taltuzas.

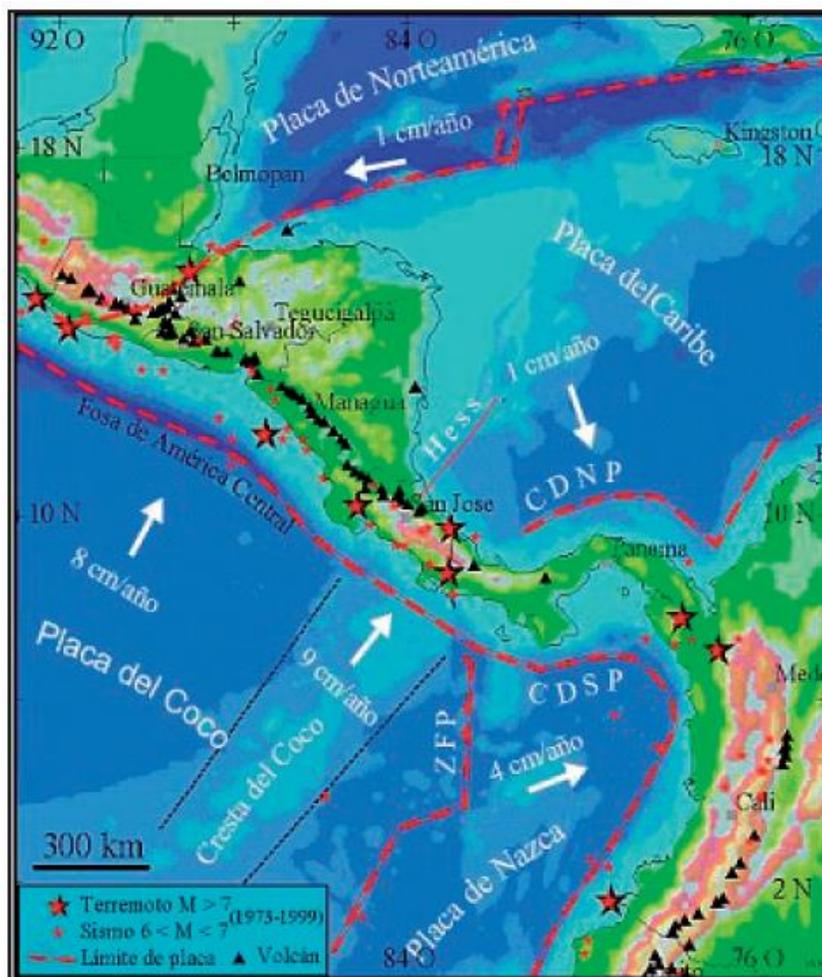
5.3.18. Áreas protegidas

El volcán de Agua recientemente fue declarado zona protegida, estando pendiente de determinar la superficie y se encuentra siendo administrado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap).

5.3.19. Sismología

Ciudad Vieja es una zona de alta actividad sísmica debido a que se encuentra entre 3 grandes placas tectónicas: la de Norteamérica, la de Cocos y la del Caribe, las cuales, debido a su actividad, han formado la falla del Motagua.

Figura 38. **Tectónica de placas de Centroamérica**



Fuente: *Tectónicas de placas de centroamerica*.www.atlas.marn.gob.sv. Consulta: agosto de 2014.

El volcán de Agua no presenta riesgo sísmico para el municipio debido a que se encuentra inactivo y, según datos del Insivumeh, no ha tenido erupciones en muchos años. Por otro lado, el volcán de Fuego es uno de los volcanes más activos de Guatemala, con más de 60 erupciones desde 1524 de tipo vulcaniano. Las erupciones, además de lanzar columnas de cenizas a varios kilómetros del volcán, también provocan sismos que son perceptibles en Ciudad Vieja debido a la cercanía de este. El volcán de Acatenango tampoco presenta riesgo para el municipio debido a que su última erupción fue en 1972 (Insivumeh, 2013).

5.3.20. Amenazas naturales

Ciudad Vieja está expuesta a diferentes fenómenos naturales que pueden convertirse en desastres y alterar el desenvolvimiento normal del municipio. Algunas de las amenazas son los lahares, las inundaciones y los sismos.

Debido a la ubicación geográfica del municipio, las amenazas por lahares son constantes debido al flujo de lodos, rocas y sedimentos acumulados en la parte alta de las faldas del volcán de Agua, que son conducidos a la población por los cauces naturales que no tienen ninguna protección.

El río Guacalate atraviesa el municipio y hay muchas viviendas que se ubican en las riberas del mismo, haciendo que el riesgo por inundación en temporales sea alta.

Ciudad Vieja está ubicada en las faldas del volcán de Agua y cerca del volcán de Fuego, además está entre 3 placas tectónicas, por lo que la amenaza sísmica es alta.

5.3.21. Agua potable

La población del municipio se abastece de agua a través de 3 tanques de captación y distribución, en donde se almacena el agua de los 6 pozos perforados existentes. El agua captada es suficiente para abastecer a toda la población durante las 24 horas del día.

5.3.22. Drenaje

Aproximadamente el 95 % de las viviendas del municipio cuentan con una red de drenajes, pero al ser éste de tipo combinado (sanitario y pluvial) dificultará en el futuro la operación de plantas de tratamiento de aguas residuales en caso de que se construyan. Debido a que actualmente no se cuenta con dichas plantas, el agua residual se vierte directamente al río Guacalate a través de 7 descargas grandes y otras menores que salen directamente de las casas que se encuentran en la ribera del río.

5.3.23. Energía eléctrica

El servicio de energía eléctrica lo proporciona la Empresa Eléctrica de Guatemala (Eegsa) para la mayoría de casas del municipio, así como para el alumbrado público.

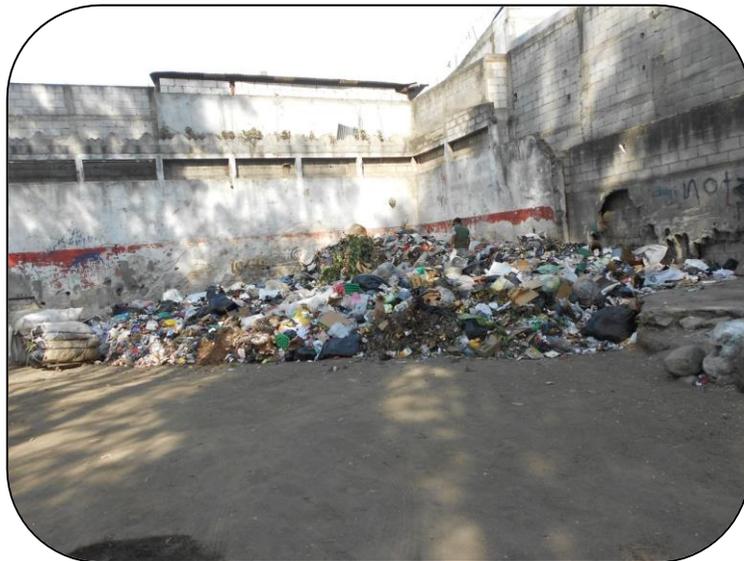
5.3.24. Telefonía

El casco urbano utiliza el servicio de telefonía proporcionado por la empresa Telgua y también utilizan los servicios de telefonía celular que tienen cobertura en el lugar.

5.3.25. Disposición de residuos

Ciudad Vieja no cuenta con un sistema de tratamiento de desechos sólidos, sin embargo, la municipalidad contrata a una empresa privada para la recolección de basura, la cual le cobra una tarifa de Q 40,00 a los pobladores por el servicio. Esta empresa lleva los desechos fuera del municipio. También, pobladores que no pagan el servicio de recolección, contratan a personas o la llevan ellos mismos a un punto de acumulación en la zona 2 del municipio, para luego trasladarla a otro sitio de disposición.

Figura 39. **Basurero de Ciudad Vieja**



Fuente: zona 2, Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

5.3.26. Centros asistenciales

En el municipio, la salud de la población es responsabilidad del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), por lo tanto hay un Centro de

Salud ubicado en la zona 5 del mismo. También hay clínicas privadas y en caso de emergencia, las personas pueden acudir al Hospital Nacional Pedro de Bethancourt ubicado en Antigua Guatemala, Sacatepéquez.

5.3.27. Vías de comunicación

La principal vía de comunicación es la carretera interamericana CA-1 que atraviesa la zona norte del departamento. Esta carretera une la frontera de México con la de El Salvador y se dirige hacia la capital. También cuenta con la ruta nacional 14 que principia en Chimaltenango, atraviesa el departamento de Sacatepéquez y termina en el entronque de la ruta nacional 6-W en la ciudad de Escuintla.

De Antigua Guatemala a Ciudad Vieja, con rumbo suroeste hay unos 5 km; de allí a Alotenango 7 km y de esa cabecera a Escuintla 14 km. Por la ruta nacional 10, de Ciudad Vieja hay unos 4 km a San Miguel Dueñas. Prosigue dicha ruta para entroncar con las nacionales en los departamentos de Chimaltenango y Escuintla. Cuenta también con carreteras vecinales, roderas y veredas que unen a sus poblados y propiedades rurales entre sí y con los municipios vecinos. Las carreteras que conectan al municipio con destinos como Antigua Guatemala, Chimaltenango y Escuintla son de asfalto y la mayoría de calles dentro del casco urbano son de adoquín. Aún existen algunas calles de terracería, principalmente en la parte alta del municipio (DGN, 2000).

5.3.28. Transporte público

Ciudad Vieja cuenta con transporte extraurbano como los trasportes Primorosa, Camelia y Gilda, los cuales son transportes locales, y están los transportes Esmeralda y Orellana, que tienen ruta a Antigua Guatemala y a la

ciudad capital. Estos transportes se pueden utilizar desde la 4:00 a.m. hasta las 10:00 p.m. También hay servicio de buses hacia Escuintla, Chimaltenango, San Miguel Dueñas y Alotenango.

5.3.29. Áreas recreativas

Las áreas recreativas que pueden usar los residentes del municipio y visitantes son: la plaza pública, el estadio de fútbol, la cancha polideportiva, el Salón Imperial, el Centro de Convenciones y el parque infantil.

Figura 40. **Área recreativa de Ciudad Vieja**



Fuente: plaza pública de Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

5.3.30. Centros turísticos y arqueológicos

Ciudad Vieja es muy visitada por turistas debido a su historia y a sus paisajes, ya que se encuentra entre los volcanes de Agua, Fuego y

Acatenango. Los lugares más visitados son la Iglesia Parroquial, la ruina conocida como la Capilla de Doña Beatriz de la Cueva, el antiguo edificio municipal o Cabildo y el centro arqueológico que los historiadores han llamado Pompeya. También son visitados los balnearios El Cubo y Almolonga.

5.4. Estimación del impacto ambiental por la descarga de aguas residuales

En esta sección se identifican y valoran los impactos ambientales que se producen directamente sobre el río Guacalate e indirectamente en el municipio de Ciudad Vieja, generados por la descarga de aguas residuales al río Guacalate, sin que éstas hayan tenido un tratamiento previo.

Se realizó una valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales, utilizando el método de Criterios Relevantes Integrados (CRI) (Buroz, 1994) adaptado para la actividad de descarga de aguas residuales. Esta matriz consiste en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas se enlistan los criterios de evaluación de impactos y en cuyas filas se colocan los componentes ambientales afectados.

5.4.1. Área de influencia directa

El área de influencia directa está determinada por el ámbito de influencia de los impactos directos previstos. Esta área corresponde al río Guacalate, ya que las aguas residuales llevan una carga grande de contaminantes, alterando la calidad del agua del río. Se analizará la parte del río Guacalate que sea parte de la jurisdicción de Ciudad Vieja, empezando en el punto 1 con coordenadas 14°32'34,26" N y 90°45'8,47" O y terminando en el punto 9 con coordenadas 14°31'19,64" N y 90°47'32,79" O.

5.4.2. Área de influencia indirecta

Se tomará como área de influencia indirecta al municipio de Ciudad Vieja en general, ya que la descarga de aguas residuales sin tratamiento al río Guacalate afecta no solo al componente hídrico, sino también a los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos de las áreas cercanas.

5.4.3. Impactos al medio físico

El medio físico está conformado por los elementos agua, aire y suelo, los cuales pueden ser afectados de manera directa o indirecta por la descarga de aguas residuales al río Guacalate.

5.4.3.1. Agua

- Superficiales

Las aguas superficiales forman parte del ciclo hidrológico, ya que una porción de ellas se evapora y luego regresan directamente por el proceso de precipitación y por la escorrentía. Las aguas superficiales de Ciudad Vieja están contaminadas por la descarga de las aguas residuales municipales que no han recibido ningún tratamiento previo y también por la escorrentía que arrastra compuestos orgánicos, sedimentos, fertilizantes y otros contaminantes.

- Descripción del impacto

En los análisis de las aguas residuales del municipio se reportaron valores altos de DBO₅, debido a la alta cantidad de materia orgánica presente en estas aguas. Esta materia orgánica se descompone en presencia de oxígeno

mediante la actividad bacteriana, lo que afecta a los niveles de oxígeno disuelto en el agua y a los nutrientes que se liberan como nitratos y fosfatos. A medida que el nivel de oxígeno desciende, las bacterias anaerobias se multiplican para seguir oxidando los compuestos orgánicos. Los productos finales resultantes de estas bacterias son el sulfuro de hidrógeno, metano y amoníaco, resultando tóxicos para la mayoría de organismos superiores.

Los sólidos suspendidos presentes en el agua del río también representan un problema serio, ya que estos aumentan la turbidez del agua, evitando que la luz llegue al fondo, por lo que los ecosistemas bentónicos no pueden realizar sus procesos fotosintéticos, alterando la cadena alimenticia (Canter, 1998).

La cantidad de nitrógeno y fósforo que se descargan a las aguas del río no superan los límites máximos permisibles, por lo que no representan actualmente problemas críticos para las aguas superficiales. Sin embargo, si no se implementan sistemas de tratamiento de aguas residuales en un futuro cercano, el crecimiento de la población y de la frontera agrícola, que son los principales contribuyentes de estos dos nutrientes, harán que el fósforo y el nitrógeno aumenten en exceso desencadenando el proceso de eutrofización (Canter, 1998).

La eutrofización se da por el crecimiento excesivo de algas, aumentando la turbidez del agua y disminuyendo el proceso de la fotosíntesis y, por lo tanto, se produce una muerte masiva de algas, que dejan de producir oxígeno. Las algas entran en condiciones de anoxia, idóneas para microorganismos anaerobios que degradan la materia orgánica liberando gases de olor desagradable (metano y sulfuro de hidrógeno) como productos de su metabolismo (Canter, 1998).

Los agentes tensoactivos que se encuentran en los jabones y detergentes son perjudiciales para el medio acuático debido a que pueden causar espumas y reducir la difusión del oxígeno atmosférico hacia el agua. Esto ocasiona los problemas mencionados anteriormente, como la eutrofización y muerte de la biota.

Las bacterias coliformes fecales son organismos que se encuentran en las heces de seres humanos y animales de sangre caliente. Al haber muchas de estas bacterias en el agua, las cuales son aerobias, reducen el oxígeno presente en el agua, causando desequilibrios en el ecosistema acuático.

Al no haber industrias en el municipio, las aguas residuales que se descargan al río son de tipo ordinario, como lo muestran los análisis de metales pesados. Los niveles bajos o imperceptibles de metales reportados indican que el agua del río Guacalate está fuera de peligro en lo referente a envenenamiento por metales pesados, ya que en caso de que estos se encontraran en concentraciones altas, podrían bioacumularse en los tejidos de los peces y estos, al ser consumidos por los humanos, provocar intoxicaciones y hasta la muerte.

Es muy importante monitorear los niveles de metales pesados ya que no son degradados por métodos químicos ni biológicos y pueden permanecer en el ambiente por cientos de años.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: la intensidad con la que se está afectando el agua superficial por la descarga de aguas residuales al río Guacalate es alta (8), debido a que los parámetros medidos

(DBO₅, sólidos suspendidos, grasas y aceites, color y coliformes fecales) se encuentran en grandes concentraciones, superando los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento. Estos niveles ocasionan problemas principalmente de descenso de los niveles de oxígeno, alteración en los ecosistemas bentónicos, muerte de peces y otros organismos y eutrofización.

- Extensión: la actividad de descarga de aguas residuales tendrá un impacto regional, asignándole un valor de 8. Se considera que el impacto es regional porque el río no logrará autodepurarse antes de llegar a otras localidades aguas abajo como Escuintla, y al unirse a la cuenca del río Achiguate aportará contaminantes, lo que provoca problemas en el océano pacífico que es en donde desemboca.

- Duración: algunos materiales presentes en el agua como el plástico y algunos derivados de los fertilizantes tardan años en degradarse. Las bacterias juegan un papel importante en la degradación de la materia orgánica, sin embargo, al descargarse grandes volúmenes de aguas residuales al río no permite que estas funcionen adecuadamente debido a que se genera disminución de los niveles de oxígeno, por lo que la materia orgánica permanece en las aguas por periodos prolongados. Por esta razón, se considera que la duración del impacto es larga, asignándole un valor de 8, debido a que si se aplican sistemas de tratamiento se

puede disminuir el tiempo en el que los contaminantes permanecen en el agua.

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(8 * 0,40) + (8 * 0,40) + (8 * 0,20)] = - 8,0$$

- Reversibilidad: el impacto generado en el río es parcialmente reversible (7) si se aplican las medidas necesarias para disminuir la carga contaminante. Debido a que el agua está contaminada con sólidos suspendidos, grasas y aceites, coliformes fecales y otras sustancias, habrá que aplicar sistemas de tratamiento principalmente físicos y biológicos. Además, los ríos tienen la capacidad de autodepurarse por la velocidad que llevan las aguas y la capacidad de absorber oxígeno, pero debido a que el vertido de aguas residuales es alto y con grandes concentraciones de contaminantes se podrá recuperar de forma lenta o artificial.
- Riesgo: la probabilidad de que ocurran los impactos mencionados anteriormente sobre las aguas superficiales es alta, asignándole un valor de 9, ya que al tener una calidad del agua del río tan baja ocasionará la disminución de los niveles de oxígeno disuelto, el cambio en el ecosistema acuático, alteración de la cadena alimenticia, entre otros problemas.

- Valor del impacto ambiental: el VIA para las aguas superficiales es:

$$VIA = (7^{0,30} \times 9^{0,30} \times 8,0^{0,40}) = 7,9$$

- Calificación de impacto: el impacto que se genera sobre las aguas superficiales es significativo, ya que es este factor ambiental el que recibe directamente la carga contaminante que llevan las aguas residuales. Esta calificación del impacto demuestra que si no se aplican medidas de tratamiento inmediatas, los daños ocasionados al río serán irreversibles.

Tabla XXXV. **Impacto en aguas superficiales**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	9,0	7,9	Significativo

Fuente: elaboración propia.

- Subterráneas

Es muy importante tomar en cuenta el impacto ambiental que se generará en el agua subterránea por el vertimiento de aguas residuales al río, ya que estas aguas se utilizan para el abastecimiento de la población.

- Descripción del impacto

Las aguas subterráneas pueden contaminarse al infiltrarse las aguas del río y, debido a que estas se mueven lentamente, no pueden autodepurarse. La profundidad a la que se encuentran las aguas subterráneas es una protección natural, ya que a mayor profundidad menor es la probabilidad de contaminación. Otro dato importante es la permeabilidad de la zona no saturada. La zona no saturada es el tramo de agua subterránea localizado entre la superficie del terreno y el nivel freático de un acuífero no confinado. La permeabilidad de la zona no saturada puede influir en la amortiguación de los contaminantes (Canter, 1998).

La presencia de los compuestos del nitrógeno como nitrógeno amoniacal (NH_4), nitrito (NO_2^-) o nitrato (NO_3^-) en agua subterránea puede deberse a la contaminación por las aguas residuales que llevan materia fecal o a la presencia de fertilizantes agrícolas.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: el impacto que se generará sobre las aguas subterráneas tendrá una intensidad media, con un valor de 4, ya que la permeabilidad de la zona saturada y las rocas que se encuentran en ella atraparán parte de los contaminantes que puedan infiltrarse al subsuelo.
- Extensión: el impacto que se producirá por la actividad de descarga de aguas residuales al río tendrá una extensión local (4), debido a que al infiltrarse las aguas contaminadas

del río hacia las aguas subterráneas se afectarán solo las zonas cercanas al cauce del río.

- Duración: la duración de la regeneración de las aguas subterráneas contaminadas por las aguas del río es larga (7) debido a que las aguas freáticas no pueden autodepurarse porque se mantienen estancadas.

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(4 * 0,40) + (4 * 0,40) + (7 * 0,20)] = - 4,6$$

- Reversibilidad: la contaminación de las aguas subterráneas es parcialmente reversible (6) si los suelos depuran los contaminantes y si hay recarga acuífera por medio de las precipitaciones.
- Riesgo: el riesgo de que se contaminen las aguas subterráneas por la acción de descarga de aguas residuales al río es media (5), ya que dependerá de la permeabilidad de la zona no saturada y de la profundidad de los acuíferos.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para las aguas subterráneas es:

$$VIA = (6^{0,30} \times 5^{0,30} \times 4,6^{0,40}) = 5,1$$

- Calificación del impacto: el impacto a las aguas subterráneas es medianamente significativo debido a que no depende solamente de la carga contaminante de las aguas superficiales, sino también a factores como permeabilidad y profundidad del manto freático.

Tabla XXXVI. **Impacto en aguas subterráneas**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
4,0	4,0	7,0	- 4,6	6,0	5,0	5,1	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.3.2. Suelo

El suelo se ha formado a través de millones de años y su transformación puede estar influida tanto por factores naturales como por la actividad humana. La contaminación del suelo es el desequilibrio físico, químico o biológico del suelo que afecta a las plantas, animales y al hombre, debido principalmente al mal manejo de sólidos y líquidos.

- Calidad

El municipio está constituido por tres tipos principales de suelos, los que se encuentran en las faldas del volcán de Agua son del orden andisol, los que se encuentran en la parte media son del orden inceptisol y los de las partes bajas son de orden molisol.

Además, los suelos se clasifican como de clase III, IV y VI. Los de clase III tienen limitaciones moderadas para su uso, los suelos de clase IV tienen limitaciones severas para uso en la agricultura y los suelos de la clase VI tienen limitaciones muy severas que restringen la selección de plantas (MAGA, 2013).

- Descripción del impacto

El impacto que puede darse en los suelos del municipio por la descarga de aguas residuales al río Guacalate, es que esta se infiltre o llegue a los suelos por desborde del río en época lluviosa, haciendo que las áreas cercanas a la ribera del río absorban los contaminantes presentes en el agua. Esto tiene una implicación importante en los cultivos que se encuentran en las riberas del río, pudiendo provocar pérdida de los mismos.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: la intensidad con que se afectan las características del suelo y los cultivos presentes en las riberas del río como consecuencia de la contaminación del mismo es baja, por lo tanto se le asigna un valor de 2.
- Extensión: el impacto sobre el suelo y los cultivos que se encuentran en las riberas del río es regional, ya que la contaminación se extiende aguas abajo de los puntos de descarga, llegando inclusive a los municipios de Alotenango y Escuintla. Por lo tanto, el impacto tiene un valor de 7.
- Duración: el tiempo que se verá afectado este componente ambiental es largo (7) debido a que se necesitan más de 10

años para que los contaminantes presentes en el agua del río no causen alteraciones en los componentes del suelo, que puedan llegar a ocasionar pérdidas de cultivos.

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(2 * 0,40) + (7 * 0,40) + (7 * 0,20)] = - 5,0$$

- Reversibilidad: el impacto que se genera sobre el suelo es parcialmente reversible (6), siempre y cuando se traten las aguas residuales que se descarguen al río.
- Riesgo: el riesgo de que se genere un impacto sobre el componente suelo es medio (4), depende de la permeabilidad que tenga este y si ocurren desbordamientos en el río.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para el suelo es:

$$VIA = (6^{0,30} \times 4^{0,30} \times 5,0^{0,40}) = 4,9$$

- Calificación del impacto: el impacto es medianamente significativo debido a que los suelos siempre tienen cierto grado de permeabilidad, permitiendo que el agua del río llegue a este y se absorban los contaminantes. Esta significancia indica que los suelos pueden ser recuperados y que no se han manifestado cambios drásticos en el mismo.

Tabla XXXVII. **Impacto en el suelo**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
2,0	7,0	7,0	- 5,0	6,0	4,0	4,9	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.3.3. Aire

Es un conjunto de gases que forma la atmósfera, indispensables para la vida en nuestro planeta.

- Calidad

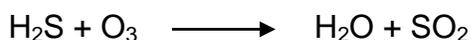
La calidad del aire se ve afectada por materias, sustancias o formas de energía que puedan afectar a la salud de las personas, el ambiente y otros recursos.

- Descripción del impacto

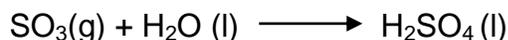
Las bacterias desempeñan un papel importante en la descomposición de la materia orgánica presente en el agua. Las bacterias aerobias liberan dióxido de carbono (CO₂) como producto final de su metabolismo. Las bacterias anaerobias entran en acción cuando los niveles de oxígeno descienden para seguir degradando la materia orgánica. El producto final de estas bacterias es el metano (CH₄) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S), los cuales son tóxicos y sépticos.

Los gases CO₂ y CH₄ son considerados como gases invernadero. Los gases invernadero absorben la radiación solar entrante de onda corta (a longitudes de onda < 4 μm). El CH₄ absorbe radiación al menos en dos bandas estrechas, centradas en 3,2 y 8 μm. Estos gases atrapan buena parte de la energía radiante que emana de la Tierra, calentando así la atmósfera y en consecuencia radiando esta energía de vuelta a la Tierra y hacia el espacio exterior. Esto tiene un efecto de manta térmica que rodea al globo, elevando su temperatura.

El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, con olor desagradable, inflamable y extremadamente peligroso. Se produce por la descomposición de materia orgánica presente en aguas residuales. La reducción del azufre a sulfuro es efectuada por microorganismos que necesitan energía para la vida celular. La reducción bacteriana del sulfuro solo tiene lugar en condiciones anaerobias. El H₂S se oxida a SO₂ por la reacción con el ozono como se observa en la siguiente ecuación.



El SO₂ presente en el aire reacciona con las moléculas de agua, produciendo ácido sulfúrico disuelto, que es el origen principal de la lluvia ácida. El agua de lluvia en estas condiciones se vuelve ácida al disminuir su pH aproximadamente a 4. Las reacciones que se llevan a cabo son las siguientes:



Los sólidos suspendidos presentes en el agua del río como consecuencia de la descarga de aguas residuales aumenta la turbidez en el agua, por lo que la luz ultravioleta ya no llega a las profundidades en donde se desarrolla el fitoplancton, evitando que se realice el proceso de fotosíntesis. La fotosíntesis es esencial para absorber el CO_2 presente en la atmósfera y convertirlo a O_2 . Por lo tanto, este sumidero de carbono natural ya no permite la purificación del aire, aumentando los niveles de este, contribuyendo al efecto invernadero y al calentamiento global.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: las emisiones de metano y sulfuro de hidrógeno a la atmósfera se generan debido a que hay mucha materia orgánica que se descompone por medios anaerobios al escasear el oxígeno disuelto en el agua. Sin embargo, la generación de CH_4 y H_2S por aguas residuales no se considera como la fuente principal de estos contaminantes, por lo tanto se puede establecer que el impacto provocado a la calidad del aire es de intensidad media (6).
 - Extensión: las moléculas de CH_4 y H_2S son desplazadas en el aire por la velocidad y dirección del viento, por lo que este impacto se considera regional, asignándole un valor de 7.
 - Duración: el metano posee un tiempo de residencia alto de aproximadamente 10 años, mientras que el sulfuro de hidrógeno tiene un tiempo de residencia bajo, ya que reacciona rápidamente con radicales OH^- generando

contaminantes secundarios. Por lo tanto, se determina que la duración del efecto es media (6).

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(6 * 0,40) + (7 * 0,40) + (6 * 0,20)] = - 6,4$$

- Reversibilidad: el efecto es reversible (3) ya que al aplicar un sistema de tratamiento de aguas residuales, éstas disminuirán la cantidad de materia orgánica presente en el río, teniendo como consecuencia una disminución de las emisiones de CH₄ y H₂S.

- Riesgo: la probabilidad de que se dé el impacto es alta (8), ya que los gases CH₄ y H₂S se emiten constantemente al aire por la descomposición de la materia orgánica, y se acumulan en la atmósfera haciendo que los impactos al ambiente sean inminentes.

- Valor del impacto ambiental: el VIA para la calidad del aire es

$$VIA = (3^{0,30} \times 8^{0,30} \times 6,4^{0,40}) = 5,5$$

- Calificación del impacto: el impacto al aire es medianamente significativo ya que los gases emitidos constantemente a la atmósfera se van acumulando, y aunque no se presente un problema inmediato para el

municipio, tiene una repercusión global al contribuir en el calentamiento global.

Tabla XXXVIII. **Impacto en el aire**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
6,0	7,0	6,0	- 6,4	3,0	8,0	5,5	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

- Olor

Es la sensación resultante de la recepción de un estímulo por el sistema sensorial olfativo. Los malos olores son una indicación de que hay un contaminante presente.

- Descripción del impacto

Los malos olores que se generan en el río son provocados por los microorganismos anaerobios que degradan la materia orgánica, liberando gases de olor desagradable como el metano y sulfuro de hidrógeno. Estos malos olores afectan a las viviendas localizadas en las riberas del río y a las áreas cercanas a este.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: la intensidad con que se manifiesta el olor en el ambiente es media, por lo tanto le corresponde un valor de

5. Las áreas en donde la intensidad del olor es mayor son las cercanas a los puntos de muestreo 1 y 8.

- Extensión: los malos olores generados por la descomposición de la materia orgánica en el río afectan principalmente las áreas cercanas a éste, por lo tanto este componente ambiental tiene un impacto local, con un valor de 5.

- Duración: la duración del impacto depende del tiempo que permanezcan los gases CH_4 y H_2S en el aire, por lo tanto como se mencionó anteriormente el tiempo de residencia del metano es largo (10 años) y el del sulfuro de hidrógeno es corto (24 horas). El olor también permanecerá en el ambiente mientras se sigan descargando aguas residuales sin tratamiento al río. Por lo tanto este impacto tendrá un valor medio de 6.

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(5 * 0,40) + (5 * 0,40) + (6 * 0,20)] = - 5,2$$

- Reversibilidad: el impacto al ambiente generado por el olor es reversible (3) siempre y cuando ya no se descarguen aguas residuales sin tratamiento al río y así evitar que haya una carga alta de materia orgánica.

- Riesgo: la probabilidad de que el mal olor afecte al aire es alta (7) ya que constantemente se emiten gases como CH₄ y H₂S al ambiente.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para el olor es:

$$VIA = (3^{0,30} \times 7^{0,30} \times 5,2^{0,40}) = 4,8$$

- Calificación del impacto: el olor provocado por la descomposición de la materia orgánica es medianamente significativo para el municipio, ya que solo afecta a las personas que viven en las riberas del río y en las áreas cercanas a este, no provoca riesgos grandes para la salud y para el medio en general. El impacto puede mitigarse con el tratamiento adecuado de las aguas residuales.

Tabla XXXIX. **Impacto en el olor**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
5,0	5,0	6,0	- 5,2	3,0	7,0	4,8	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.4. Impactos al medio biológico

El medio biológico se ve afectado por la descarga de aguas residuales al río debido a que dañan las especies de flora y fauna presentes en el agua, y

como consecuencia, se altera la cadena alimenticia provocando muchas veces la muerte de las especies.

5.4.4.1. Flora

La transformación de los sistemas naturales producto de las actividades humanas, es una de las causas principales que afectan la diversidad biológica. Estos cambios en la diversidad biológica afectan las zonas de vida y los microclimas. Muchas veces puede darse hasta la extinción de las especies, pero esto dependerá del grado de modificación del hábitat, de la cantidad de especies que haya y de la capacidad de adaptación que estas tengan.

- Árboles y hierbas

La cobertura forestal del municipio está conformada principalmente por especies de cedro, ciprés, pinabete, lama, encino, roble, eucalipto, gravilea, manzanal, peral, naranjal, jocotal, pie de gallo, pascua, eucalipto, exofilias, quiletes y chipilín.

- Descripción del medio

Al subir el nivel del río o desbordarse en época de precipitaciones altas, todos los contaminantes y sustancias químicas presentes en el agua producen cambios en los procesos de las plantas, ocasionando muchas veces la muerte de las mismas. Además, la concentración de grasas y aceites que lleva el agua del río es alta, por lo que pueden adherirse a las orillas de los cauces y formar capas en el agua, deteriorando la biota del lugar.

Otro de los contaminantes que tiene un efecto sobre la flora es el sulfuro de hidrógeno presente en el ambiente, ya que reacciona para formar dióxido de azufre, el cual es uno de los principales componentes de la lluvia ácida. La lluvia ácida modifica el pH del suelo, afectando a su vez el crecimiento y desarrollo normal de las plantas.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: los impactos estimados de la actividad de vertido de aguas residuales al río tienen una intensidad media (4), y se relacionan con la calidad del agua que necesitan las especies vegetales para vivir. Sin embargo, esta actividad no causa un impacto tan grande en la flora como otras actividades que se están llevando a cabo en el área, las cuales incluye la tala de árboles con fines de explotación de la madera o para la agricultura.
 - Extensión: el impacto se da a nivel local (4), debido a que las aguas residuales descargadas en el municipio afectan los suelos cercanos a la ribera del río, provocando cambios en las especies vegetales.
 - Duración: si las plantas absorben agua contaminada del suelo o directamente del río en caso de encontrarse en las riberas, ya no se desarrollarán y morirán, por lo que se tendrá que esperar cierto tiempo para que éstas vuelvan a crecer, dependiendo de la especie afectada. Por esto se considera que el impacto tiene una duración media (6).

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(4 * 0,40) + (4 * 0,40) + (6 * 0,20)] = - 4,4$$

- Reversibilidad: el impacto es reversible (3) siempre y cuando se mejore la calidad del agua del río con el tratamiento de aguas residuales.
- Riesgo: el riesgo de que se pierdan especies vegetales como consecuencia de la descarga de aguas residuales al río es medio (4) ya que la flora depende del agua y los minerales que se encuentren en el suelo, y al estar estos contaminados con sustancias químicas provenientes del agua del río se alteran sus procesos biogeoquímicos.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para la flora es:

$$VIA = (3^{0,30} \times 4^{0,30} \times 4,4^{0,40}) = 3,8$$

- Calificación del impacto: el impacto sobre la flora se califica como poco significativo debido a que no se han reportado pérdidas de árboles y hierbas como consecuencia de la descarga de aguas residuales al río.

Tabla XL. **Impacto en árboles y hiervas**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
4,0	4,0	6,0	- 4,4	3,0	4,0	3,8	Poco significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.4.2. Fauna

- Animales acuáticos

Los sistemas acuáticos son muy diversos, dinámicos y cambiantes, por lo que cualquier alteración física o química que suceda en el agua afecta la distribución de las especies presentes. Hay especies que son más tolerantes que otras, pero al haber contaminación excesiva y provocar cambios en el ambiente, muy pocos sobreviven.

- Descripción del impacto

Los animales acuáticos, en especial los peces que habitaban el río Guacalate han migrado en busca de un hábitat adecuado para su supervivencia, ya que las aguas del río se encuentran contaminadas desde hace ya varias décadas.

Al introducir residuos al agua provenientes de actividades humanas, ésta se contamina, alterando los niveles de fitoplancton, que son organismos autótrofos y el primer eslabón en la cadena alimenticia. La alteración de los niveles de fitoplancton altera a su vez la concentración de zooplancton. El zooplancton es el principal alimento de los animales acuáticos, por lo tanto se ve alterada la cantidad de estos en el agua.

Los sedimentos y sólidos de diversos tamaños que se encuentran en el agua pueden ser confundidos como alimentos por los peces. Estos sólidos en su mayoría son tóxicos y causan bloqueos en el sistema digestivos de los peces. Además, La DBO alta reportada en los análisis de agua residuales indica

alta concentración de materia orgánica, lo que provoca la muerte de los peces y otros animales acuáticos debido a que hay un agotamiento del oxígeno presente en el agua.

Otro impacto que se puede dar en los animales acuáticos es por la presencia de sulfuro de hidrógeno en el aire originado por la degradación de la materia orgánica, el cual disminuye el pH de las aguas pluviales, acidificando las aguas del río y como consecuencia afectando negativamente a las diferentes especies que habitan en el agua.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: la contaminación del río altera de una forma significativa el hábitat de los peces, provocando la migración de los mismos y en el peor de los casos su muerte. Por lo que la intensidad del impacto es alta, con un valor de 8.
 - Extensión: los peces que tienen como hábitat al río Guacalate mueren por los niveles altos de contaminación que lleva éste. Pero esta contaminación no sólo afecta al área cercana a los puntos de descarga, sino también a los lugares aguas abajo. Por lo tanto, la descarga de las aguas residuales del municipio tiene efectos negativos regionales (7).
 - Duración: muchos de los contaminantes presentes en el agua permanecerán en ella por tiempo indefinido, como los sólidos de gran tamaño y las sustancias tóxicas, y otros son

biodegradables como la materia orgánica, pero también permanecen mucho tiempo en el agua debido a que no se le da un tratamiento adecuado. Por esta razón, la duración del impacto es larga (8).

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(8 * 0,40) + (7 * 0,40) + (8 * 0,20)] = - 7,6$$

- Reversibilidad: el impacto que se genera sobre los animales acuáticos es irreversible (8) ya que los peces están migrando y muriendo, y esto no cambiará a menos que se purifique casi en su totalidad el hábitat de los mismos.
- Riesgo: el riesgo de que ocurra migración, intoxicación y muerte de peces es alto (8), ya que estos no pueden vivir en condiciones extremas de contaminación.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para los animales acuáticos es:

$$VIA = (8^{0,30} \times 8^{0,30} \times 7,6^{0,40}) = 7,8$$

- Calificación del impacto: el impacto causado a los animales acuáticos es significativo porque estos no pueden vivir en ambientes con alta contaminación, por lo que migran a otros lugares para poder sobrevivir y los que no logran hacerlo mueren.

Tabla XLI. **Impacto en animales acuáticos**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
8,0	7,0	8,0	- 7,6	8,0	8,0	7,8	Significativo

Fuente: elaboración propia.

- **Aves y animales terrestres**

La fauna característica de Ciudad Vieja es el coyote, gato de monte, comadreja, jabalí, venado, tepezcuintle, mapache, conejo, zanate, zopilote, serpientes, ardillas, tacuacines y taltuzas.

- **Descripción del impacto**

Los contaminantes no biodegradables presentes en los ríos provenientes de la descarga de aguas residuales, se desintegran sólo con la exposición prolongada a la luz ultravioleta y por el movimiento de las aguas, generando miles de pedazos más pequeños, liberando muchos compuestos químicos tóxicos para los primeros eslabones de la cadena alimenticia. Los animales acuáticos que han consumido zooplancton contaminado, también se contaminan por bioacumulación. Muchas aves al alimentarse de estos peces y de los pedazos de basura que confunden con alimento se intoxican y mueren.

Los animales terrestres también se encuentran en peligro de morir a causa de la ingestión de peces o agua contaminada. La dieta de algunos animales incluye peces, los cuales al haber consumido sustancias tóxicas conservan en sus tejidos grasos estos compuestos, y al servir de alimento para los animales terrestres bioacumulan los tóxicos y mueren. Muchos animales terrestres

dependen del agua del río para beber, pero al estar contaminada afecta su salud.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: las aves y los animales terrestres están sufriendo las consecuencias de la degradación del río Guacalate, ya que se está alterando la cadena alimenticia y el agua que les sirve para beber. Sin embargo, la mayoría de los animales que habitan en la región no tienen una dieta a base de peces, por lo que la intensidad con la que se ven afectados es baja (3).
 - Extensión: la extensión del impacto es local (5), ya que las aves y animales terrestres que podrían ser afectados por la contaminación del agua son los que habitan en las riberas del río o áreas cercanas a estas.
 - Duración: la duración del impacto es media (5), ya que si se da la migración de aves y animales terrestres, o en el peor de los casos la muerte de los mismos por la contaminación del río, no tendría que pasar mucho tiempo para que se reestablezca la especie, ya que como se mencionó anteriormente, la alimentación de los animales de la zona no está basada fundamentalmente de peces.
 - Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(3 * 0,40) + (5 * 0,40) + (5 * 0,20)] = - 4,2$$

- Reversibilidad: el impacto que se genera sobre las aves y animales terrestres es parcialmente reversible (4), ya que se evitará que estos migren y mueran si se mejoran las condiciones actuales del río.
- Riesgo: la probabilidad de migración y muerte de aves y animales terrestres por las condiciones deplorables del río es baja (3), ya que estos no dependen exclusivamente del agua del río y de los peces que habitan en él.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para los animales acuáticos es:

$$VIA = (4^{0,30} \times 3^{0,30} \times 4,2^{0,40}) = 3,7$$

- Calificación del impacto: las aves y animales terrestres experimentan un impacto poco significativo por el vertido de las aguas residuales al río porque no basan su dieta exclusivamente en peces, y sus ciclos reproductivos son de duración media, por lo que se mantiene la especie.

Tabla XLII. **Impacto en aves y animales terrestres**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
3,0	5,0	5,0	- 4,2	4,0	3,0	3,7	Poco significativo

Fuente: elaboración propia.

- Insectos

Los sistemas de agua dulce están dominados por macroinvertebrados incluyendo larvas de insecto y otros invertebrados como lombrices que tienen un papel principal en los procesos de los ecosistemas, principalmente el descomponer la materia orgánica. Pero el verter grandes cantidades de materia orgánica al río hace que el oxígeno escasee y que estos animales ya no puedan realizar su función.

- Descripción del impacto

Las aguas contaminadas generan el establecimiento de insectos potencialmente peligrosos para la salud. Dentro de los grupos de insectos que se han adaptado a los sistemas acuáticos contaminados se encuentran principalmente en el orden Diptera, comprendido por moscas y mosquitos capaces de incubar y multiplicar en su cuerpo microorganismos que posteriormente podrían ser la causa de enfermedades en el ser humano.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: el río Guacalate se encuentra altamente contaminado y la cantidad de insectos que se producen como consecuencia de la contaminación es grande. Por lo que la intensidad con que se produce el impacto es alto (6).
- Extensión: los insectos que se generan por las aguas contaminadas afectan las áreas cercanas al río pero también se han extendido por todo el municipio, calificando el impacto como local (6).

- Duración: el impacto tiene una duración media (6), ya que generalmente los insectos tienen un tiempo de vida corto, pero al permanecer las condiciones de contaminación se siguen reproduciendo, por lo que si se cambian las condiciones ambientales actuales, se puede reducir significativamente la cantidad de insectos.

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(6 * 0,40) + (6 * 0,40) + (6 * 0,20)] = - 6,0$$

- Reversibilidad: el impacto es parcialmente reversible (5) ya que depende de la capacidad de autodepuración del río y de los métodos artificiales que se implementen para mejorar las condiciones ambientales. La proliferación de insectos tiene implicaciones en la salud pública, debido a que los insectos son portadores de enfermedades, pero esta situación puede mejorarse al momento de tratar las aguas residuales que se descargan al río.

- Riesgo: el riesgo de que los insectos se proliferen por la contaminación del río es alto (7), ya que estos se adaptan muy bien a las condiciones adversas de los sistemas acuáticos, y son potencialmente peligrosos porque son portadores de enfermedades.

- Valor del impacto ambiental: el VIA para los insectos es:

$$VIA = (5^{0,30} \times 7^{0,30} \times 6,0^{0,40}) = 5,9$$

- Calificación del impacto: la proliferación de insectos en el municipio como consecuencia de la degradación de las aguas del río tiene un impacto medianamente significativo sobre el medio, dado que estos son transmisores de enfermedades. Actualmente se observan enjambres de moscas y mosquitos directamente sobre el río y en las áreas cercanas a éste, lo que representa molestias a los pobladores y la posibilidad de que éstas enfermen como consecuencia de la transmisión de enfermedades por estos vectores.

Tabla XLIII. **Impacto en insectos**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
6,0	6,0	6,0	- 6,0	5,0	7,0	5,9	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.4.3. **Ecología**

- Zonas de vida

Según el sistema de clasificación de Holdridge, Ciudad Vieja cuenta con 3 zonas, las cuales son el bosque muy húmedo subtropical cálido, el bosque húmedo montano bajo subtropical y el bosque muy húmedo montano bajo subtropical.

- Descripción del impacto

El bosque muy húmedo subtropical cálido tiene precipitaciones entre 2 136 a 4 327 mm y una temperatura de 21 a 25 °C. Además, se dan especies como conacaste, puntero, mulato, palo blanco y chaperno. El bosque húmedo montano bajo subtropical se caracteriza por tener precipitaciones de 1 057 a 1 580 mm y temperaturas de 15 a 23 °C. Entre la vegetación indicadora se pueden mencionar el encino, pino triste y pino macho, así como duraznillo, mezché y capulín. El bosque muy húmedo montano bajo subtropical tiene una precipitación pluvial comprendida entre 2 065 a 3 988 mm y una temperatura de 12,5 a 18,6 °C. Entre la vegetación indicadora están el ciprés, mano de león, pino blanco, pino triste y encino.

Estas zonas de vida son muy ricas en especies vegetales y sirven de hábitat para diversas especies de animales, por lo que la alteración de las condiciones climáticas del área puede afectar el desarrollo y crecimiento de la biota del lugar.

La descarga de aguas residuales al río tiene como resultado la emisión de gases de efecto invernadero como CO₂ para procesos aerobios y CH₄ para procesos anaerobios al degradarse la materia orgánica. Debido a que cada vez aumenta la población y por lo tanto el volumen de las descargas, estos gases se han ido incrementando, teniendo como consecuencia que el planeta en general aumente su temperatura y haya cambios en las diversas zonas de vida.

Además de estos dos gases, la descomposición de la materia orgánica también tiene como producto el H₂S que al reaccionar en la atmósfera con iones OH⁻ forma el SO₂, el cual vuelve a reaccionar para formar ácido sulfúrico (H₂SO₄) y este compuesto al disolverse en agua, disminuye el pH de la misma

provocando la lluvia ácida. La lluvia ácida también provoca acidificación de los suelos, lo que muchas veces mata a las especies vegetales.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: la intensidad del impacto es media, con un valor de 4 ya que los gases descritos anteriormente que se emiten por la descomposición de la materia orgánica no se encuentran en concentraciones tales que puedan alterar de forma significativa e inmediata al clima y a las condiciones ambientales de las zonas de vida.
 - Extensión: los gases emitidos a la atmósfera que se generan en el río se desplazan por la acción de los vientos hacia el sur del país, por lo tanto, la extensión del impacto es regional, asignándole un valor de 5.
 - Duración: los gases como CO₂ y CH₄ tienen un tiempo de residencia mayor de 10 años y el H₂S tiene un tiempo de vida corto porque reacciona muy fácilmente, sin embargo, los efectos que ocasiona en el ambiente perduran. Por lo tanto, la duración del impacto es larga, con un valor de 7.
 - Magnitud: el valor de la magnitud es:
$$M = - [(4 * 0,40) + (5 * 0,40) + (7 * 0,20)] = - 5,0$$
 - Reversibilidad: el impacto es parcialmente reversible (6) en el largo plazo, porque los gases emitidos a la atmósfera

tienen un tiempo de residencia largo y se van acumulando hasta causar cambios climáticos que afectan las zonas de vida.

- Riesgo: la probabilidad de que ocurra el impacto es media (4), ya que las concentraciones de los gases emitidos no provocan cambios significativos en el medio.
- Valor del impacto ambiental: El VIA para las zonas de vida es:

$$VIA = (6^{0,30} \times 4^{0,30} \times 5^{0,40}) = 4,9$$

- Calificación del impacto: el impacto que se genera sobre las zonas de vida es medianamente significativo debido a que los gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono se acumulan en la atmósfera, y cada vez se producen más por el aumento de la población y de las descargas de aguas residuales, ocasionando un cambio climático que repercutirá en las especies que forman las zonas de vida del municipio y del planeta en general.

Tabla XLIV. **Impacto en zonas de vida**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
4,0	5,0	7,0	- 5,0	6,0	4,0	4,9	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

- Áreas protegidas

La única zona declarada como área protegida en Ciudad Vieja es el Volcán de Agua, el cual está siendo administrado por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap).

- Descripción del impacto

El volcán de Agua es muy visitado por turistas durante todo el año, lo que causa que se deterioren los suelos por la quema de ramas para fogatas y por la basura que muchas veces tiran en las veredas, pero la actividad de descarga de aguas residuales al río tiene muy pocas implicaciones sobre las condiciones existentes en el volcán. Los factores ambientales como suelo, aguas subterráneas, flora y fauna, entre otros, podrían ser afectados por los gases que se emiten a la atmósfera como consecuencia de la degradación bacteriana de la materia orgánica, lo cual ocurriría a largo plazo.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: el único factor que podría significar efectos adversos sobre las áreas protegidas son los gases que se emiten a la atmósfera, como el CH₄ y el H₂S, los cuales tienen un efecto global sobre las condiciones ambientales del planeta. Estos gases contribuyen al calentamiento global y a que se produzca la lluvia ácida, alterando los factores ambientales como el clima, el suelo, las aguas subterráneas, etc. Por lo tanto, la intensidad con que se

manifiesta el impacto sobre las áreas protegidas por la actividad de descarga de aguas residuales en el río es baja, con un valor de 2.

- Extensión: el impacto se generaría a nivel regional, ya que el volcán de Agua forma parte de los departamentos de Sacatepéquez, Guatemala y Escuintla. El valor que se le asigna al impacto es de 7.
- Duración: en caso de darse el impacto sobre las áreas protegidas, el impacto tendría una duración media (5), ya que los componentes como la flora y la fauna o el suelo no se afectarían en gran medida por ser un impacto de intensidad baja, permitiendo que éstas se recuperen en el mediano plazo.
- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(2 * 0,40) + (7 * 0,40) + (5 * 0,20)] = - 4,6$$

- Reversibilidad: ya que la intensidad del impacto es baja, el impacto que se generaría sobre el volcán de Agua al mejorar las condiciones en el río es reversible (3).
- Riesgo: la probabilidad de que ocurra el impacto es bajo (3), ya que los gases emitidos en el río se dispersan por varias regiones y no solamente se concentran en las áreas protegidas.

- Valor del impacto ambiental: el VIA para las áreas protegidas es:

$$VIA = (3^{0,30} \times 3^{0,30} \times 4.6^{0,40}) = 3,6$$

- Calificación del impacto: el impacto sobre las áreas protegidas es poco significativo debido a que este factor ambiental sería afectado principalmente por los gases emitidos por la degradación de la materia orgánica de las aguas residuales, que tendrían consecuencias a mediano y largo plazo.

Tabla XLV. **Impacto en áreas protegidas**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
2,0	7,0	5,0	- 4,6	3,0	3,0	3,6	Poco significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.5. **Impacto al medio socioeconómico y cultural**

El medio socioeconómico y cultural puede verse afectado de una forma indirecta, ya que la degradación del río puede ocasionar problemas de salud, alteración del paisaje y disminución del turismo.

5.4.5.1. Social

- Salud

Las enfermedades transmitidas por el agua tienen como origen a los agentes patógenos biológicos principalmente. Estos agentes pertenecen al grupo de los microorganismos que se transmiten en las heces excretadas por los humanos o por los animales.

- Descripción del impacto

La transmisión de una enfermedad puede darse directamente por contacto o por ingestión del agente infeccioso presente en el agua residual, o indirectamente por contacto con objetos que fueron contaminados con ésta. Para que se pueda producir la enfermedad hay una serie de factores a tomar en cuenta, como el número de agentes infecciosos ingeridos, la capacidad del organismo patógeno para causar la enfermedad y la susceptibilidad del huésped.

Algunos microorganismos transmisores de enfermedades son: *Shigellae dysenteriae*, que causa la disentería; *Salmonella typhi* causante de la fiebre tifoidea; *Vibrio cholerae*, agente etiológico del cólera; *Escherichi coli* que causa diversas enfermedades gastrointestinales; *Giardia lamblia*, agente de giardiasis; el rotavirus, que causa gastroenteritis; entre otros.

Además de los microorganismos presentes en el agua residual, las aguas también pueden estar contaminadas por compuestos de nitrógeno como los nitritos y nitratos, los cuales al ser consumidos por los niños puede dar lugar a una situación conocida como metahemoglobinemia (síndrome del niño azul).

Otro contaminante de las aguas residuales es el sulfuro de hidrógeno, el cual es un gas fétido y ligeramente más pesado que el aire. La exposición humana a pequeñas cantidades puede causar irritación en los ojos, nariz y garganta. En concentraciones moderadas puede causar dolores de cabeza, náuseas, mareos, tos y dificultad al respirar. En concentraciones altas puede provocar convulsiones, incapacidad para respirar e incluso la muerte.

Según datos proporcionados por el Centro de Salud, las enfermedades reportadas que tienen relación con la contaminación del agua son diarrea, vómitos y náuseas. No se han reportado casos de cólera, disentería o fiebre tifoidea. Las demás enfermedades más frecuentes en el municipio no tienen una relación directa con la contaminación del agua. Entre ellas están las enfermedades respiratorias, diabetes, problemas cardiacos, entre otros.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: los problemas de salud que puede producir el agua contaminada son extensos, sin embargo, las enfermedades transmitidas por el agua reportadas por el Centro de Salud no se manifiestan en gran medida, y las que si lo hacen, pueden ser provocadas por otras causas como alimentos contaminados, agua de chorros que no sea adecuada para beber, el contacto con objetos sucios, entre otros. Por esta razón, la intensidad de afectación a la salud por la contaminación del río es media (4), ya que no muchas personas están en contacto directo con las aguas del río.

- Extensión: el impacto a la salud se da a nivel local (5), ya que las personas que generalmente se enferman por estar en contacto con el agua del río son las que viven en las riberas del mismo.
- Duración: la salud puede ser perturbada por unos días a semanas, como consecuencia de la ingesta o el contacto con aguas contaminadas, por esta razón, el impacto es de corta duración (3).
- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(4 * 0,40) + (5 * 0,40) + (3 * 0,20)] = - 4,2$$

- Reversibilidad: el impacto sobre la salud es reversible, por lo que se le asigna un valor de 2, porque esta puede restablecerse siempre y cuando no haya sido una enfermedad crónica.
- Riesgo: el riesgo de que surjan enfermedades por el contacto o ingesta de aguas del río contaminadas con aguas residuales es alto, con un valor de 8, ya que estas llevan una gran cantidad de bacterias y sustancias tóxicas para la salud.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para la salud es:

$$VIA = (2^{0,30} \times 8^{0,30} \times 4,2^{0,40}) = 4,1$$

- Calificación del impacto: el impacto sobre la salud es medianamente significativo debido a que no toda la población está en contacto con el agua, dado que el río ya no es un lugar recreativo que se use para bañarse como en años pasados; por lo que los efectos adversos a la salud por contaminación del río han disminuido. Las enfermedades relacionadas con el agua, registradas en el Centro de Salud no son crónicas y no se tienen pruebas de que hayan sido causadas por la contaminación del río.

Tabla XLVI. **Impacto en la salud**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
4,0	5,0	3,0	- 4,2	2,0	8,0	4,1	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

- Agua potable

El agua que utilizan los habitantes del municipio para realizar sus actividades diarias como el lavado de trastos y ropa, el aseo personal, preparación de alimentos, e incluso para bebida, la obtienen de las aguas subterráneas a través de pozos perforados existentes.

- Descripción del impacto

Las aguas subterráneas se contaminan con las aguas del río que se infiltran por las capas del suelo, y al estar éstas estancadas o tener poco

movimiento no tienen la capacidad de autodepurarse. Si bien es cierto que el agua que sirve para abastecimiento de la población está tratada, y su calidad está doblemente certificada, los gastos para su tratamiento y purificación se elevan al encontrarse contaminada.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: la intensidad con que se contaminan las aguas subterráneas por la contaminación del río es media (4), lo que implica un incremento en el costo de la purificación del agua potable para consumo humano, ya que las capas del suelo sirven como filtro natural de contaminantes y la profundidad del agua subterránea ayuda a que estos no lleguen a ellas.
- Extensión: la extensión del impacto sobre el agua potable es local (4) y depende mucho de la permeabilidad de los suelos y de la profundidad del nivel freático.
- Duración: si las aguas subterráneas se contaminan, estas pueden tardar años en purificarse, lo que califica al impacto como de larga duración (7).

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(4 * 0,40) + (4 * 0,40) + (7 * 0,20)] = - 4,6$$

- Reversibilidad: el impacto es parcialmente reversible (6) debido a que si se llegan a contaminar las aguas

subterráneas, teniendo una implicación directa en el agua potable, éstas tardarían mucho tiempo en regenerarse, y dependería de la recarga que se tenga y la calidad de las precipitaciones.

- Riesgo: la probabilidad de que se contaminen las aguas subterráneas y sea más difícil y costoso tratar las aguas para potabilizarlas es medio (5).
- Valor del impacto ambiental: el VIA para el agua potable es:

$$VIA = (6^{0,30} \times 5^{0,30} \times 4,6^{0,40}) = 5,1$$

- Calificación del impacto: la calificación del impacto sobre el agua potable dio como resultado un impacto medianamente significativo, y aunque este no sea directo, la contaminación de las aguas subterráneas, que son las que sirven para abastecer a la población, tiene como consecuencias que el proceso de purificación sea más costoso y que haya riesgo de que las aguas no se purifiquen en su totalidad y que afecte la salud de la población.

Tabla XLVII. **Impacto en el agua potable**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
4,0	4,0	7,0	- 4,6	6,0	5,0	5,1	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.5.2. Económico

- Economía

La economía de Ciudad Vieja se basa principalmente en la agricultura y la artesanía. Los principales productos agrícolas que se siembran son maíz, frijol, café, güicoy, papa, arveja, aguacate, durazno, naranja, manzana, y otra extensa variedad de frutas y verduras. Los productos artesanales que elaboran los pobladores son los muebles y adornos de madera.

- Descripción del impacto

Además de la agricultura y la artesanía, el municipio también obtiene sus ingresos de la fabricación de cohetes y productos de cera, así como de la fabricación de cajas mortuorias y del trabajo de enderezado y pintura de automóviles. En los últimos años, el turismo ha representado un ingreso importante para el municipio, ya que por su cercanía con la Antigua Guatemala y por su historia, es frecuentado por muchos visitantes.

La contaminación del río Guacalate por la descarga de aguas residuales puede tener efectos negativos en algunas actividades económicas dentro del municipio. Una de ellas es la agricultura, ya que el agua del río no se puede aprovechar para riego por su alta carga contaminante, haciendo que los agricultores opten por otros métodos que representan mayores gastos económicos, y como consecuencia, el precio de los productos de la canasta básica también aumentan.

Otra actividad económica afectada por la contaminación del río es el turismo, dado que el río Guacalate forma parte del paisaje del municipio, junto

con los imponentes volcanes de Agua, Fuego y Acatenango. Los sólidos suspendidos de gran tamaño que lleva el agua, el color, el olor y los enjambres de moscas y mosquitos que se observan, han disminuido el valor ambiental del río y perturban el paisaje, el cual ya no es agradable a la vista de las personas. Por esta razón, el turismo puede disminuir como consecuencia del deterioro ambiental.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: el grado con que se afecta la economía del municipio por la contaminación del río es bajo (3), debido a que el agua del río no puede ser aprovechada para la agricultura por la carga contaminante, pero sí existen otros métodos para regar los cultivos, aunque estos sean más costosos. Debido a que el río Guacalate representa un atractivo menos para el municipio, los turistas pierden interés en visitar el pueblo.
 - Extensión: la actividad de descarga de aguas residuales al río afecta principalmente a la economía del municipio, pero también a otros poblados aguas abajo, por lo tanto se determina que el impacto es regional (6).
 - Duración: el factor económico se verá afectado hasta que se mejoren las condiciones ambientales y las aguas del río vuelvan a ser aptas para el riego y no distorsionen el paisaje para no afectar el turismo. Por lo tanto, la duración del impacto es larga (7), ya que el río está muy

contaminado y se necesitarán años para que las condiciones del mismo mejoren.

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(3 * 0,40) + (6 * 0,40) + (7 * 0,20)] = - 5,0$$

- Reversibilidad: el impacto es parcialmente reversible (5), porque para que las aguas del río puedan servir para el riego y se purifiquen para no perturbar el paisaje, debe hacerse una gran inversión para el tratamiento de aguas residuales y de las aguas del río, lo cual llevará mucho tiempo.
- Riesgo: el riesgo de afectar la economía por descargar aguas residuales al río es media (4), ya que la agricultura es una de las actividades económicas principales del municipio, y ya no se puede aprovechar el agua del río para el riego. El turismo no se ve afectado en gran medida debido a que hay otros atractivos turísticos en Ciudad Vieja.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para la economía es:

$$VIA = (5^{0,30} \times 4^{0,30} \times 5,0^{0,40}) = 4,7$$

- Calificación del impacto: la economía se ve afectada medianamente por la contaminación del río Guacalate principalmente por dos aspectos, el desaprovechamiento del agua para el riego y la pérdida de interés de los turistas

por el paisaje. Sin embargo, esto puede remediarse y hay métodos alternativos para que los ingresos económicos obtenidos de la agricultura y el turismo mejoren.

Tabla XLVIII. **Impacto en la economía**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
3,0	4,0	7,0	- 4,2	6,0	4,0	4,7	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

- Usos del suelo

La descarga de aguas residuales al río implica cambios en el uso de la tierra debido a los cambios fisicoquímicos y biológicos que han sufrido los suelos de las riberas del río, por lo que algunos cultivos ya no pueden sembrarse en el área ni algunas especies vegetales.

- Descripción del impacto

La zona residencial y comercial de Ciudad Vieja se encuentra principalmente en el área central del municipio, pero también hay viviendas en las faldas del volcán de Agua y en las riberas del río Guacalate. En caso de que la contaminación del río siga aumentando y llegue a una situación extrema, empeorará las condiciones en las que viven las personas que tienen sus viviendas a orillas del río, obligándolas a desplazarse hacia zonas más altas para que no se presenten riesgos para su salud.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: el cambio en el uso del territorio no es muy drástico y no se han experimentado situaciones extremas de alteración en los componentes ambientales como suelo y aire, por lo tanto el uso del territorio ha sido el mismo durante muchos años. Por esta razón, la calificación para la intensidad del impacto sobre el uso del territorio es baja (2).
 - Extensión: los pocos cambios que se han dado son principalmente debido a la alteración del suelo en las riberas del río, haciendo que el impacto se genere localmente, con un valor de 4.
 - Duración: los impactos sobre el uso del territorio no han sido significativos y tienen una duración corta, por lo que su valor es de 3.
 - Magnitud: el valor de la magnitud es:
$$M = - [(2 * 0,40) + (4 * 0,40) + (3 * 0,20)] = - 3,0$$
 - Reversibilidad: el impacto es reversible (3) ya que los usos del territorio pueden seguir constantes siempre y cuando se mejore la calidad del agua del río para que las características fisicoquímicas y bacteriológicas del suelo no cambien significativamente.

- **Riesgo:** la probabilidad de que el territorio se destine para otros usos es muy baja (2), ya que los pobladores que ya tienen asentadas sus casas en las riberas del río difícilmente se trasladarán a otro sitio, aunque permanecer ahí implique riesgos para su salud. Además, los suelos se han utilizado para los mismos tipos de cultivos en los mismos lugares durante muchos años.
- **Valor del impacto ambiental:** el VIA para los usos del suelo es:

$$VIA = (3^{0,30} \times 2^{0,30} \times 3^{0,40}) = 2,7$$

- **Calificación del impacto:** El impacto sobre el uso del suelo es poco significativo debido a que las áreas especiales para la agricultura permanecen casi constantes, aunque haya contaminación en las áreas cercanas a estas; y las áreas residenciales, recreativas, de bosques, entre otros no han sido afectadas por la actividad de descargas de aguas residuales, que implique su traslado o que se hayan tenido que adaptar para otros fines.

Tabla XLIX. **Impacto en el suelo**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
2,0	4,0	3,0	- 3,0	3,0	2,0	2,7	Poco significativo

Fuente: elaboración propia.

5.4.5.3. Cultural

- Paisaje

La contaminación visual es el cambio o desequilibrio en el paisaje por medios naturales o antropogénicos. Esta puede perturbar la visualización y romper la estética de una zona.

- Descripción del impacto

Los materiales flotantes y el color que tiene el agua del río Guacalate tienen un efecto antiestético que influye en que el paisaje ya no sea agradable a la vista de los pobladores y los turistas. Esto crea un malestar en los pobladores y disminuye el potencial turístico del municipio.

En el río Guacalate también se observan enjambres de moscas y mosquitos como consecuencia de la carga contaminante que este lleva, disminuyendo su valor ambiental.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: la intensidad con la que la contaminación del río afecta el paisaje es media, con un valor de 5. El impacto que se produce al paisaje tiene aún una intensidad alta debido a que el volumen de las descargas y los parámetros contaminantes no han alcanzado un nivel en donde la contaminación sea irreversible.

- Extensión: la extensión del impacto sobre el paisaje es regional (6) debido a que las aguas contaminadas llegan hasta otros municipios e incluso al océano pacífico, y no logran autodepurarse en su trayecto.
- Duración: si las aguas residuales no son tratadas, los contaminantes permanecerán en el río por un periodo prolongado, provocando que la duración del impacto sobre el paisaje sea larga (7).
- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(5 * 0,40) + (6 * 0,40) + (7 * 0,20)] = - 5,8$$

- Reversibilidad: el impacto es parcialmente reversible (5), dado que las características del agua del río pueden mejorar pero tardarán mucho en regresar a sus condiciones iniciales inclusive cuando se apliquen sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Riesgo: la probabilidad de que se vea afectado el paisaje por la contaminación del río es alta (7) porque mientras más volúmenes de aguas residuales se descarguen al río, mayor será la cantidad de sólidos flotantes y de turbidez que presentará el agua.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para el paisaje es:

$$VIA = (5^{0,30} \times 7^{0,30} \times 5,8^{0,40}) = 5,9$$

- Calificación del impacto: se crea un impacto medianamente significativo en el paisaje debido a que el río Guacalate ha sido considerado como un atractivo para el municipio, y anteriormente era utilizado como área recreativa, pero con el deterioro que ha experimentado, se ha modificado uno de los principales componentes visuales.

Tabla L. **Impacto en el paisaje**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
5,0	6,0	7,0	- 5,8	5,0	7,0	5,9	Medianamente significativo

Fuente: elaboración propia.

- **Áreas recreativas**

Las áreas recreativas que pueden usar los residentes del municipio y visitantes son la plaza pública, el estadio de fútbol, la cancha polideportiva, el Salón Imperial, el Centro de Convenciones y el parque infantil.

- Descripción del impacto

Anteriormente, los habitantes del municipio también podían usar el río Guacalate como zona de baño, ya que este era cristalino y limpio, pero las personas mayores cuentan que desde hace unos 30 años ya no lo pueden usar con fines recreativos.

De las áreas recreativas mencionadas, la única que está siendo afectada por la contaminación del río es el parque infantil, ya que este se encuentra ubicado cerca del río y del basurero municipal. Estos dos últimos contribuyen al mal olor en el área, ocasionando molestias a las personas que visitan el parque, y la presencia de moscas en el área.

- Evaluación cuantitativa del impacto
 - Intensidad: el grado con que se manifiesta el impacto es bajo (3) y a pesar de que el parque infantil se encuentra entre dos focos de contaminación, aún es posible permanecer en el lugar sin que cause grandes molestias a las personas.
 - Extensión: la extensión del impacto es local (4), ya que solo afecta al parque infantil que está cercano al río.
 - Duración: los malos olores y moscas que afectan a las áreas recreativas dependen también de las condiciones meteorológicas como la temperatura, humedad, precipitación, entre otros, siendo más intensos en temporada de calor y generalmente no permanecen por tiempos prolongados. Por lo tanto, la duración del impacto es corta, con un valor de 3.
 - Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(3 * 0,40) + (4 * 0,40) + (3 * 0,20)] = - 3,4$$

- Reversibilidad: el impacto es reversible (3) si se aplican sistemas de tratamiento de aguas residuales.
- Riesgo: el riesgo de que se generen malos olores y moscas que limiten el uso del parque infantil es bajo (2), ya que estas condiciones no prevalecen todo el tiempo y no tienen una intensidad tan alta como para impedir el uso del mismo.
- Valor del impacto ambiental: el VIA para las áreas recreativas es:

$$VIA = (3^{0,30} \times 2^{0,30} \times 34^{0,40}) = 2,79$$

- Calificación del impacto: en Ciudad Vieja existen varias áreas recreativas, pero sólo el parque infantil es afectado por la contaminación del río, por eso el impacto sobre este factor ambiental es poco significativo.

Tabla LI. **Impacto en las áreas recreativas**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
3,0	4,0	3,0	- 3,4	3,0	2,0	2,8	Poco significativo

Fuente: elaboración propia.

- Centros turísticos y arqueológicos

El turismo en Ciudad Vieja ha aumentado debido a que es un lugar hermoso, con vista a los volcanes de Agua, Fuego y Acatenango, y paisajes asombrosos.

- Descripción del impacto

Los lugares frecuentados por los turistas son la iglesia parroquial, la ruina conocida como La Capilla de Doña Beatriz de la Cueva, el antiguo edificio municipal o Cabildo y el centro arqueológico llamado Pompeya. También son visitados los balnearios El Cubo y Almolonga.

Los centros turísticos y arqueológicos no son afectados por las descargas de aguas residuales al río. El río contaminado puede causar desinterés en los visitantes, por lo que disminuye el turismo y se ve afectada la economía de los lugareños.

- Evaluación cuantitativa del impacto

- Intensidad: no se genera impacto sobre los centros arqueológicos, pero sí sobre el paisaje, el cual se considera como un atractivo turístico. Por lo tanto, la intensidad del impacto es baja (2), al poder tener implicaciones sobre el turismo que hay en el municipio.
 - Extensión: la extensión del impacto es local (4), ya que el turismo del municipio se verá afectado por la contaminación del río dentro de la jurisdicción de Ciudad Vieja.

- Duración: la duración del impacto es media (4) y dependerá del tiempo en que prevalezcan las condiciones de contaminación en el área.

- Magnitud: el valor de la magnitud es:

$$M = - [(2 * 0,40) + (4 * 0,40) + (4 * 0,20)] = - 3,2$$

- Reversibilidad: el impacto es reversible (3) si se aplican métodos de tratamiento de aguas residuales para que no se vea afectado el turismo del municipio.

- Riesgo: el riesgo de que se vean afectados los centros turísticos y arqueológicos de Ciudad Vieja y disminuya su valor paisajístico es bajo (2), ya que el río no es el único lugar que visitan los turistas.

- Valor del impacto ambiental: el VIA para los centros turísticos y arqueológicos es:

$$VIA = (3^{0,30} \times 2^{0,30} \times 3,2^{0,40}) = 2,7$$

- Calificación del impacto: el impacto sobre los centros turísticos y arqueológicos es poco significativo, dado que el único aspecto ambiental que se daña es el paisaje, el cual contribuye al turismo.

Tabla LII. **Impacto en los centros turísticos y arqueológicos**

I	E	D	M	R	RG	VIA	Significancia
2,0	4,0	4,0	- 3,2	3,0	2,0	2,7	Poco significativo

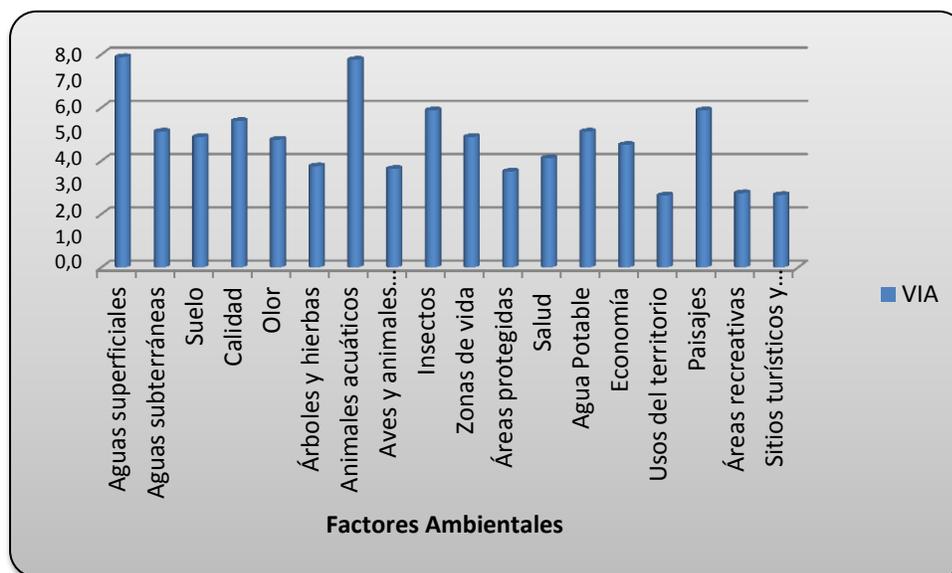
Fuente: elaboración propia.

5.4.6. **Resumen de la estimación de impactos ambientales**

En la tabla XV se muestra el resumen de los resultados obtenidos de los impactos ambientales generados sobre los componentes ambientales por la actividad de descarga de aguas residuales al río Guacalate y en la figura 41 se muestra el valor de impacto ambiental (VIA) para cada factor.

La actividad de descarga de aguas residuales sin tratamiento al río Guacalate, no solo afecta al agua superficial en sí, sino que también genera impactos negativos sobre otros factores ambientales. Los resultados en el cuadro XIV muestran que los factores afectados de forma significativa son las aguas superficiales y los animales acuáticos, mientras que los que tienen poca significancia son los árboles y hierbas, las áreas protegidas, las áreas recreativas y los sitios turísticos y arqueológicos.

Figura 41. Valor del impacto ambiental por factor ambiental



Fuente: elaboración propia.

En la tabla XL se contabiliza el número de impactos que se generan sobre cada componente ambiental y en la figura 42 se muestra el porcentaje que representan dichos impactos.

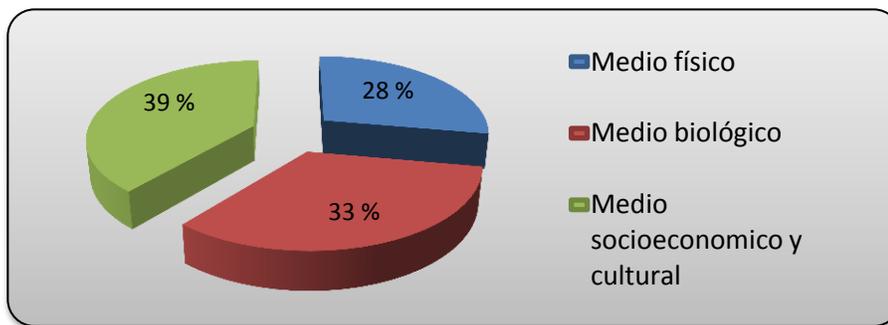
Tabla LIII. Número de impactos sobre los componentes ambientales

IMPACTOS AMBIENTALES	Medio físico	Medio biológico	Medio socioeconómico	TOTAL IMPACTOS
Poco significativos	0	3	3	5
Medianamente significativos	4	2	4	11
Significativos	1	1	0	2
TOTAL IMPACTOS	5	6	7	18

Fuente: elaboración propia.

La figura 42 muestra que el mayor número de impactos se produce sobre el medio socioeconómico, con un porcentaje de 39 % sobre el total de impactos. Este porcentaje no indica que este componente sea el que se encuentran más degradado, sino que hay una mayor incidencia de impactos sobre este medio. El medio biológico representa el 33 % de los impactos y el medio físico el 28 %, siendo este último en donde se generan los impactos significativos.

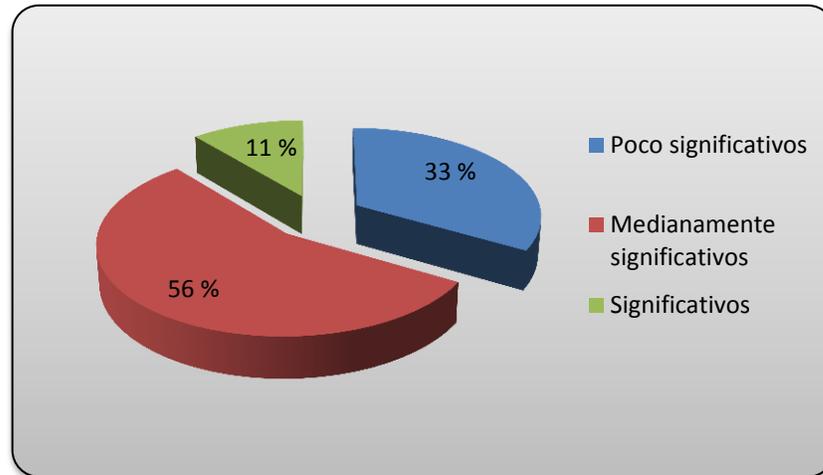
Figura 42. **Porcentaje de impactos ambientales por componente ambiental**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 43 se presenta la significancia de los impactos y se observa que en el 28 % de los componentes ambientales, que incluyen la flora, ecología, medio económico y cultural, se producen impactos poco significativos; los medianamente significativos tienen el mayor porcentaje (61 %), para el agua subterránea, la tierra, el aire, la fauna (aves, animales terrestres e insectos), ecología, medio social, económico y cultural. Los impactos significativos representan el 11 % e incluyen al agua superficial y a los animales acuáticos.

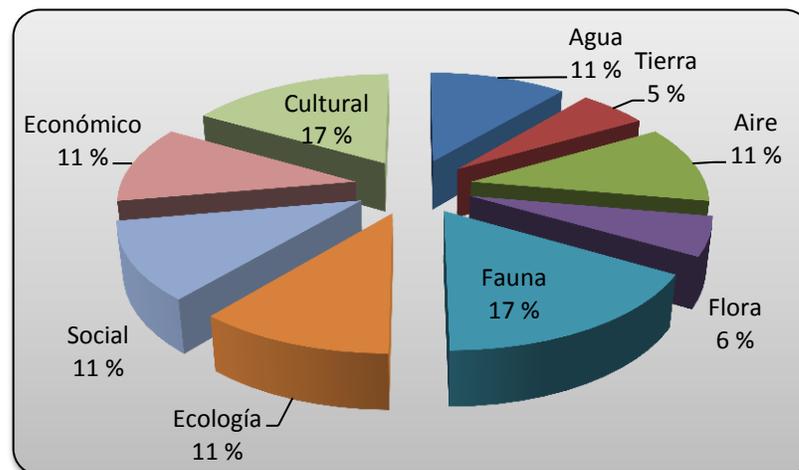
Figura 43. **Significancia de los impactos ambientales**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 44 se muestra el porcentaje de los impactos que se genera sobre cada factor ambiental.

Figura 44. **Porcentaje de impactos por factor ambiental**



Fuente: elaboración propia.

5.5. Plan de manejo ambiental

El objetivo de realizar un plan de manejo ambiental (PMA) es que se mitiguen los impactos ambientales ocasionados al río Guacalate y al municipio de Ciudad Vieja en general, por la actividad de descarga directa de aguas residuales al río sin haber tenido ningún tipo de tratamiento.

El PMA debe ser ejecutado por la Municipalidad de Ciudad Vieja y, ya que actualmente cuenta con una Oficina de Medio Ambiente, esta debe encargarse directamente de realizar el monitoreo ambiental, siempre y cuando cuente con expertos en la materia.

Los pasos a seguir que se proponen para realizar el plan de manejo ambiental son:

- Realizar una línea base del municipio para establecer las condiciones actuales en las que se encuentra.
- Realizar un estudio técnico, por lo menos cada cinco años, de las aguas residuales municipales, para determinar si ha habido reducción porcentual de los contaminantes presentes en el agua.
- Verificar el cumplimiento del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales*, comparando los valores reportados en el estudio técnico con los límites establecidos en el Reglamento.
- Implementar plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en sitios adecuados para la función de depuración de aguas.

5.5.1. Línea base

Es muy importante establecer una línea base de las condiciones actuales del municipio, teniendo especial interés en factores ambientales como el agua, el aire y el suelo, la flora y fauna del lugar, las zonas de vida, áreas protegidas, clima, entre otros, para analizar posteriormente cómo afecta al medio el descargar las aguas residuales al río.

Ciudad Vieja es un municipio que no ha sido afectado grandemente por la contaminación, ya que las actividades que se realizan en el mismo son principalmente la agricultura y la artesanía, habiendo muy poca industria. Sin embargo, debido a que la población ha aumentado de manera acelerada, el componente hídrico está experimentando una degradación creciente.

Para la elaboración de la línea base es importante tener expertos en geología, hidrología, climatología, biología, entre otras disciplinas, para poder tener datos precisos de los componentes ambientales, o realizar una búsqueda exhaustiva de estudios realizados en el municipio sobre dichos componentes.

5.5.2. Estudio técnico

El *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales* en su artículo 5 establece que los entes generadores de aguas residuales que las descarguen a un cuerpo receptor, como el río Guacalate, deben realizar un estudio técnico para caracterizar las aguas residuales municipales. Este estudio debe ser realizado por expertos en la materia y tiene validez de cinco años.

Los parámetros indicados en el artículo 16 del Reglamento que deben analizarse son temperatura, pH, grasas y aceites, materia flotante, sólidos

suspendidos totales, DBO₅, DQO, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc, color y coliformes fecales.

Se sugiere que los puntos que se tomen para realizar los muestreos sean los que se establecen en la tabla X, ya que estos fueron seleccionados según las características hidrográficas del lugar y los que se ubicaban en puntos estratégicos, como al inicio y fin del municipio, así como los que representaban las descargas más significativas de aguas residuales.

Según el artículo 24 del Reglamento, el dos de mayo de 2015 inicia la etapa uno de reducción porcentual de cargas contaminantes y se establecen los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales, por lo que las municipalidades deben cumplir con dichos límites. Los valores de los parámetros que miden las características del agua residual que se analizaron en el presente informe pueden ser tomados como los valores iniciales.

5.5.3. Verificación del cumplimiento del Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales

Los parámetros que miden las características del agua residual se analizan en el estudio técnico y deben compararse con los valores establecidos en el Artículo 24 del Reglamento, los cuales son los límites máximos permisibles para aguas residuales municipales que se descarguen a un cuerpo receptor, para verificar si se cumple con estos límites o si hubo reducción porcentual de los valores de los parámetros. Por lo tanto, la Municipalidad de Ciudad Vieja debe empezar a planificar la forma en que va a tratar sus aguas residuales.

Es importante que los parámetros no superen los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento para no deteriorar más el recurso hídrico del municipio y, de forma indirecta, a los demás componentes ambientales, evitando así que se sigan ocasionando impactos ambientales y que se sancione a la municipalidad por el incumplimiento.

5.5.4. Tratamiento de aguas

En el artículo 24 del Reglamento se establece que todas las municipalidades deberán cumplir con tener en operación plantas de tratamiento que funcionen por lo menos con sistemas de tratamiento primario, a más tardar para el dos de mayo de 2015.

Para seleccionar las áreas en donde puedan implementarse las PTAR, es importante tomar en cuenta la topografía del lugar, el espacio disponible, si se encuentran cerca de puntos de descarga, el caudal de las aguas residuales que llegan a ese punto, entre otros.

En el municipio existen por lo menos cinco descargas significativas y otras descargas menores, principalmente en la zona 1, las cuales salen directamente de las casas que se encuentran en las riberas del río hacia este.

Las plantas de tratamiento que se proponen para todo el municipio son 4, ya que la población es grande (34 147 habitantes) y hay dos sitios, el caserío Bosarreyes y la aldea de San Lorenzo El Cubo, que no se conectan al alcantarillado del municipio y, por su ubicación geográfica, harían muy difícil y costoso el proceso de unirse a una planta de tratamiento dentro del municipio.

El Reglamento establece que es obligación de las municipalidades tener en operación la construcción de plantas de tratamiento y permite que estas cuenten únicamente con un sistema de tratamiento primario para el año 2015. Sin embargo, según los resultados proporcionados por los laboratorios en donde se realizaron los análisis de muestras, los parámetros DBO₅, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, color y coliformes fecales de las aguas residuales de Ciudad Vieja superan los valores del LMP, por lo que no cumplen con el Reglamento, debiendo aplicarse por lo menos el pretratamiento y los tratamientos primarios y secundarios, para evitar que se siga degradando el río y otros componentes ambientales.

No se sugiere que se aplique el tratamiento terciario debido a que las aguas residuales del municipio no contienen nitrógeno ni fósforo en exceso, y tampoco metales pesados.

5.5.4.1. Pretratamiento

El tratamiento preliminar consiste en la eliminación de los sólidos de gran tamaño que llevan las aguas residuales, como basura, hojas, palos, trapos, entre otros, con el fin de evitar obstrucciones en los equipos de la planta. Entre las operaciones del pretratamiento se encuentran:

- Desbaste

Este proceso se lleva a cabo mediante rejas que interceptan la corriente de aguas residuales y atrapan los sólidos grandes para evitar obstrucciones en los equipos de la planta de tratamiento.

- Dilaceración

Consiste en triturar los sólidos grandes para que continúen en el circuito y no tengan que ser removidos posteriormente. Una desventaja es que con este proceso sí puede haber obstrucción de las bombas y tuberías por la acumulación del material triturado.

- Desarenado

El proceso de desarenado se realiza después del desbaste y tienen como objetivo el extraer del agua la grava, arena y partículas minerales de tamaño superior de 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

- Desengrasado

Con este proceso son removidas las grasas y aceite, y en general toda la materia flotante de las aguas residuales, antes de pasar a las siguientes etapas. La operación consiste en inyectar aire al agua para provocar que las grasas suban a la superficie y luego son removidas con coladores.

- Tamizado

Consiste en filtrar las aguas sobre un enrejado metálico que puede tener orificios de diferentes tamaños. El objetivo es retener materiales en suspensión, materiales flotantes, ramas, residuos vegetales y animales, entre otros, para que no haya obstrucción ni abrasión de equipos.

5.5.4.2. Tratamiento primario

Utiliza procedimientos físicos para eliminar los sólidos de menor tamaño suspendidos en las aguas, como las arenas, sólidos orgánicos suspendidos y coloidales que no fueron removidos en el pretratamiento. Entre los métodos más utilizados en el tratamiento primario se encuentran:

- Decantación

Este proceso utiliza la fuerza de la gravedad para permitir que las partículas suspendidas sedimenten, luego los materiales en el fondo son arrastrados y removidos con unas rasquetas.

- Flotación con aire

Se producen burbujas en el agua que separan las partículas suspendidas de densidad similar a la del agua, hasta que se hacen ascender a la superficie y posteriormente son eliminadas con una especie de colador o rasquete.

5.5.4.3. Tratamiento secundario

En este tratamiento se utilizan métodos biológicos para reducir la materia orgánica, la carga de nutrientes y eliminar organismos patógenos. Puede realizarse por medio de procesos aerobios o anaerobios. Los métodos más utilizados son:

- Filtros percoladores

Son tanques circulares rellenos de piedras o materiales sintéticos que forman un filtro con varios huecos, degradando biológicamente la materia orgánica del agua residual. El agua a tratar se rocía sobre el lecho filtrante, mediante un brazo giratorio, provisto de surtidores, y da lugar a la formación de una película que recubre los materiales filtrantes conformada por bacterias, protozoos y hongos alimentados por la materia orgánica del agua residual.

Al fluir el agua residual sobre la película, la materia orgánica y el oxígeno disuelto son extraídos de esta. El oxígeno disuelto en el líquido se aporta por la absorción del aire que se encuentra entre los huecos del lecho. El material del lecho debe tener una gran superficie específica y una elevada porosidad. Suelen emplearse piedras calizas, gravas, escorias o bien materiales plásticos artificiales de diversas formas.

- Lodos activados

Se refiere a microorganismos que trabajan de forma aerobia para estabilizar un residuo. El ambiente aerobio se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Al contenido del reactor se le llama líquido mezcla. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos sedimentados son retornados al reactor. La masa sobrante es eliminada, ya que si no fuera así, la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más.

- Digestión aerobia

Consiste en degradar la materia orgánica por medios biológicos (microorganismos) en presencia de oxígeno. Las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica y la transforman en dióxido de carbono. Al acabarse la materia orgánica, las bacterias mueren y sirven de alimento para otras bacterias.

- Reactor aerobio de flujo ascendente

Las aguas residuales son conducidas al reactor e ingresan por el fondo del mismo, siguiendo una trayectoria ascendente a través de un lodo que contiene partículas formadas biológicamente, atravesando una abertura y entrando a la zona de sedimentación. El tratamiento se da cuando el agua residual entra en contacto con las partículas, y los gases producidos anaeróbicamente permiten la recirculación del lodo. Tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido el gas, ascienden hacia la parte superior del reactor. Allí se produce la liberación de gas adherido a las partículas, al entrar en contacto con los deflectores gasificados.

- Digestión anaerobia

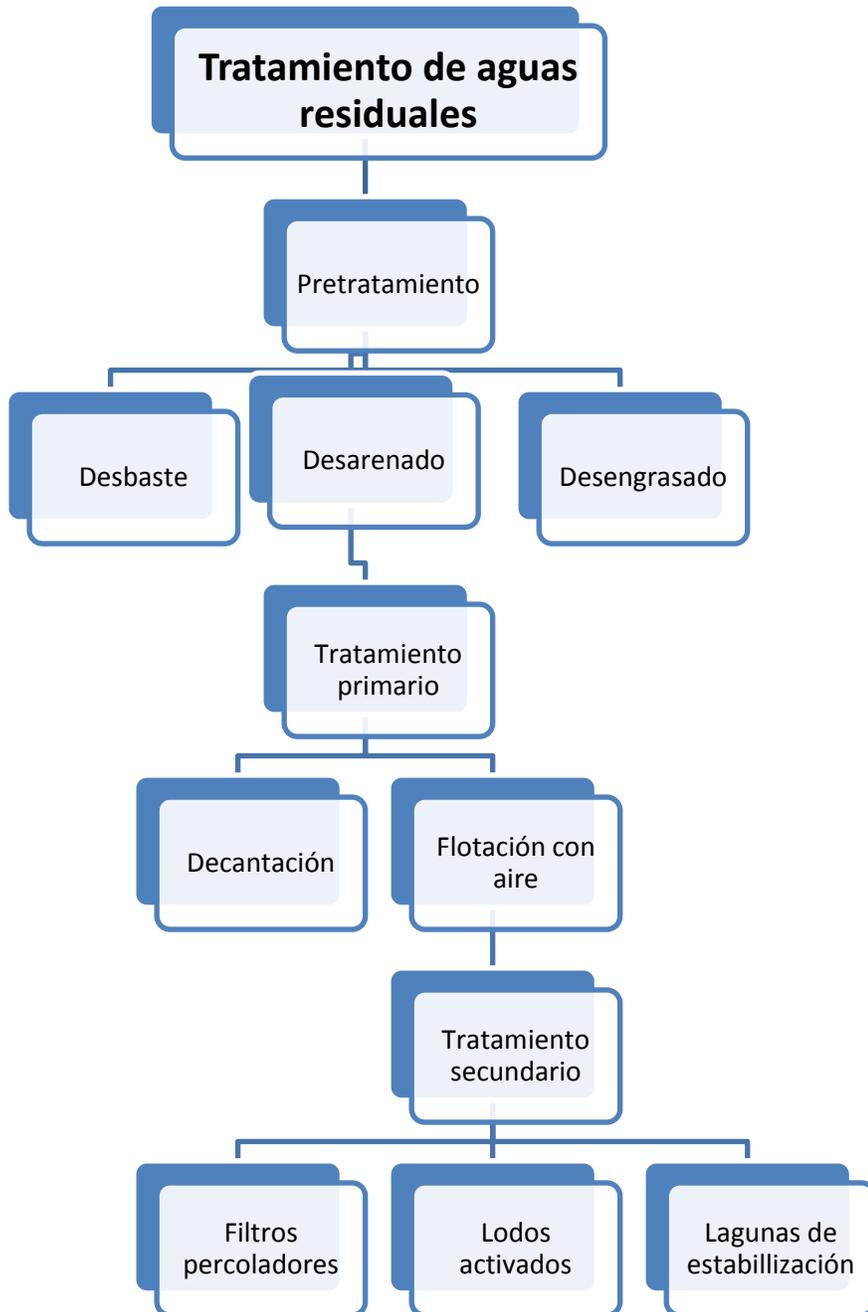
En este proceso la materia orgánica contenida en la mezcla de fangos biológicos se convierte, bajo condiciones anaeróbicas, en metano, y dióxido de carbono. El proceso se lleva a cabo en un reactor cerrado completamente, los lodos son introducidos al reactor de manera continua o intermitente y permanecen retenido en periodos de tiempo variable, el lodo estabilizado extraído tiene un bajo contenido de materias orgánicas y patógenos y no es

putrescible. La función básica de la segunda etapa consiste en separar los sólidos digeridos del líquido sobrenadante.

- Lagunas de estabilización

Son estructuras diseñadas para detener las aguas residuales, un periodo apreciable de tiempo, en un embalse de poca profundidad para acelerar los procesos naturales de degradación de la materia orgánica biodegradable que constituyen el tratamiento o estabilización de los desechos. La calidad del efluente está determinada por las condiciones climáticas, principalmente por la temperatura y la luz solar. Ofrece costos mínimos de operación y mantenimiento debido a su contenido fundamentalmente de bacterias y algas, y una construcción elemental.

Figura 45. Tratamiento de aguas residuales



Fuente: elaboración propia.

6. LOGROS OBTENIDOS

Se analizaron las aguas residuales de cinco descargas del municipio de Ciudad Vieja y las aguas de cuatro puntos ubicados en el río Guacalate, y se determinaron los valores iniciales de los parámetros que miden la calidad del agua, como DBO₅, grasas y aceites, sólidos suspendidos, color, nitrógeno total, fósforo total, coliformes fecales, así como algunos metales pesados (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn). Se verificó el cumplimiento con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, comparando los valores iniciales con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 24 del Reglamento.

Se realizó la línea base de las condiciones ambientales actuales del municipio, como su hidrografía, orografía, geología, vocación de los suelos, clima, zonas de vida, economía, áreas recreativas, infraestructura, servicios básicos, entre otros, para poder comparar estas características con las que se presenten en el futuro.

Se estimaron los impactos ambientales que se generan sobre el río Guacalate por la descarga de aguas residuales, valorando los mismos como significativos, medianamente significativos o poco significativos, dependiendo el componente ambiental que afectan, y cuantificándolos según el método de Criterios Relevantes Integrados.

Finalmente, se propuso un plan de manejo ambiental para evitar que el río se siga degradando por la descarga de aguas residuales, y evitar también el deterioro de otros componentes ambientales.

CONCLUSIONES

1. Los valores de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las aguas residuales del municipio de Ciudad Vieja y del río Guacalate analizados presentan variaciones de la época lluviosa a la época seca, siendo más bajos en la época lluviosa para la mayoría de puntos muestreados, debido a la dilución que presentan los contaminantes por la precipitación pluvial.
2. Los parámetros DBO₅, grasas y aceites, sólidos suspendidos, color y coliformes fecales no cumplen con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, debido a que los valores de dichos parámetros, principalmente para las descargas de aguas residuales, se encuentran por encima de los límites máximos permisibles.
3. Los valores de metales pesados se encuentran a nivel de trazas en algunos puntos y en otros no son perceptibles, por lo que no representan problemas ambientales para el municipio ni problemas para la salud de los pobladores.
4. Los puntos 1 y 9, que corresponden a los muestreos al inicio y fin del municipio, disminuyen la concentración de los parámetros DQO, DBO₅ y color, y aumentan la concentración de sólidos suspendidos y coliformes fecales, lo que indica que el río tiene capacidad de autodepurarse, pero al incrementar los vertidos de aguas residuales, este necesita de medios antropogénicos para regenerarse.

5. La alta concentración de coliformes fecales y el alto valor de DBO₅ indican que el agua del río está muy contaminada con materia orgánica proveniente principalmente de materia fecal, lo cual hace al agua inaceptable para algunas actividades como riego, uso recreativo o doméstico.
6. Los valores de metales pesados encontrados en las descargas de aguas residuales demuestran que las aguas vertidas al río Guacalate son de tipo ordinario.
7. Con base en los resultados obtenidos se comprueba la hipótesis de que las aguas residuales de Ciudad Vieja no cumplen con el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales* y generan impactos ambientales negativos sobre el río.
8. La descarga de aguas residuales sin tratamiento al río Guacalate genera impactos ambientales negativos directamente sobre este e indirectamente sobre otros componentes ambientales.
9. Los factores ambientales afectados de forma significativa por la descarga de aguas residuales al río son las aguas superficiales y los animales acuáticos, mientras que los que tienen poca significancia son los árboles y hierbas, las áreas protegidas, las áreas recreativas y los sitios turísticos y arqueológicos.
10. El 33 % de los impactos son poco significativos, el 56 % son medianamente significativos y el 11 % son significativos. El 28 % de los impactos afecta al medio físico, el 33 % al medio biológico y el 39 % al medio socioeconómico y cultural.

RECOMENDACIONES

1. Monitorear frecuentemente la calidad de las aguas residuales y del agua del río Guacalate para verificar el cumplimiento que del *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos* y para establecer medidas correctoras y preventivas que eviten el deterioro ambiental.
2. Estudiar los cambios que se presenten en la línea base del municipio y determinar los factores que provocaron dichos cambios
3. Implementar el plan de manejo ambiental (PMA) que se propone en el presente informe y diseñar uno con datos técnicos precisos que se basen en los resultados obtenidos, para tener un mejoramiento continuo e integral de la calidad ambiental del municipio.
4. Los tratamientos que se recomiendan para disminuir la carga contaminante son el pretratamiento, el tratamiento primario y el secundario. El tratamiento terciario no se considera necesario porque las aguas residuales del municipio tienen valores bajos de fósforo, nitrógeno y de metales pesados (menores al LMP).

BIBLIOGRAFÍA

1. American Public Health Association, US. *Standard Methods for the examination for the water and wastewater*. [en línea]. <http://www.google.com.gt/?gws_rd=cr,ssl&ei=#q=12.%09American+Public+Health+Association>. [Consulta: junio de 2014].
2. AUGE, Miguel. *Agua fuente de vida*. [en línea]. https://www.google.com.gt/?gws_rd=cr,ssl&ei=KLqnVdnkKseYNprqgrgH#q=AUGE%2C+Miguel.+Agua+fuentes+de+vida>. [Consulta: 22 mayo de 2014].
3. BRUGNOLI, Enrico. *Agua en los trópicos, guía científico-técnica para el estudio de la calidad del agua en Centroamérica, una aproximación a la armonización de las normas de calidad*. Costa Rica: Güilombé, 1999. 20 p.
4. CANTER, Larry W. *Manual de Evaluación de Impacto Ambiental*. 2a ed. España: McGraw-Hill, 1998. 841 p.
5. CASTILLO LEMUZ, Hoffman Romeo. *La contaminación del agua de los ríos por los ingenios azucareros y su impacto en el medio ambiente, durante el tiempo de zafra o producción del azúcar en el municipio de Escuintla departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, 2006. 55 p.

6. *Contaminación Atmosférica*. [en línea]. <<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448169816.pdf>>. [Consulta: 12 de julio de 2014].
7. FRANCO ARENALES, Irene. *Calidad del agua del canal de Chiquimulilla, dentro del complejo de humedales marino-costero Iztapa, Escuintla – La Candelaria, Taxisco, Santa Rosa, Guatemala*. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, 2008.
8. GALL ATLAS, Francis. *Diccionario Geográfico de Guatemala*. [en línea]. <https://www.google.com.gt/?_rd=cr,ssl&ei=#q=GALL+ATLAS%2C+Francis.+Diccionario+Geogr>. [Consulta: 20 de julio de 2014].
9. GARCÍA GARCÍA, Hayro Oswaldo. *Cuantificación de la calidad del agua del Río Villalobos en época seca y lluviosa en un periodo de 24 horas 2 veces al mes en un punto previo a la entrada del Lago de Amatitlán*. Tesis. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos-ERIS, 2002. 30 p.
10. GIL RODAS DE CASTILLO, Norma Edith. *Interpretación quimiométrica de la calidad del agua de los ríos que conforman la microcuenca del Río Villalobos, principal tributario del Lago de Amatitlán, durante los años 1996 a 2006*. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, 2008. 40 p.

11. Guatemala. *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*. Decreto 68-86. 1986. 7 p.
12. Guatemala. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Acuerdo Gubernativo 236-2006, 2006. 60 p.
13. *Impacto Ambiental. El planeta herido*. McGraw-Hill [en línea]. <<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448167155.pdf>>. [Consulta: 22 mayo de 2014].
14. Insivumeh. *Departamento de investigación y servicios meteorológicos*. [en línea]. <<http://www.insivumeh.gob.gt/estacionesmet.html>>. [Consulta: 10 de marzo de 2014].
15. JIMÉNEZ CISNEROS, Blanca. GALIZIA TUNDISI, José. *Diagnóstico del agua en las Américas*. [en línea]. <https://www.google.com.gt/?gws_rd=cr,ssl&ei=#q=JIM%C3%89NEZ+CISNEROS%2C+Blanca.+GALIZIA+TUNDISI%2C+Jos%C3%A9.+Diagn%C3%B3stico+del+agua+en+las+Am%C3%A9ricas>. [Consulta: 20 de marzo de 2014].
16. MONERRIS, Miguel Martín. MARZAL DOMÉNECH, Paula. *Modelación de la calidad del agua*. [en línea]. <https://www.google.com.gt/?gws_rd=cr,ssl&ei=#q=19.%09MONERRIS%2C+Miguel+Mart%C3%ADn.+MARZAL+DOM%C3%89NECH%2C+Paula.+Modelaci%C3%B3n+de+la+calidad+del+agua>. [Consulta: julio de 2014].

17. Organización Mundial de la Salud. *Guías ara la calidad del agua potable*. [en línea]. <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_fulll_lowsres.pdf?ua=1>. [Consulta: junio de 2014].
18. ORJUELA, Luz Consuelo. SALDARRIAGA, Gabriel. GARCÍA, Martha. WILCHES, Hernando. *Calidad del agua superficial en Colombia. Estudio Nacional del Agua*. 2010 [en línea]. <https://www.google.com.gt/?gws_rd=cr,ssl&ei=#q=ORJUELA%2C+Luz+Consuelo.+SALDARRIAGA%2C+Gabriel.+GARC%3%8DA%2C+Martha.+WILCHES%2C+Hernando.+Calidad+del+agua+superficial+en+Colombia.+Estudio+Nacional+del+Agua>. [Consulta: julio de 2014].
19. RAMOS MALDONADO, Francisco Josué. *Análisis de la calidad del agua para consumo humano en el área urbana del puerto de San José, departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 33 p.
20. *Recursos naturales del municipio de Ciudad Vieja*. [en línea]. <http://www.deguate.com/municipios/pages/sacatepequez/ciudad-vieja/recursos-naturales.php#.U_6mKcV5NWU>. [Consulta: 12 de marzo de 2014].
21. SANTOS, Bairon. *Datos del municipio de Ciudad Vieja* [en línea]. <<http://www.tutiempo.net/Tierra/Guatemala/Municipio-de-Ciudad-Vieja-GT002573.html>>. [Consulta: 8 de marzo de 2014].

22. SOLIS CUELLAR, Hector Antonio. *Diagnóstico de las aguas servidas municipales sobre la calidad del agua del Río San José, en la cabecera departamental de Chiquimula*. Trabajo de graduación de agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Oriente, Facultad de Agronomía, 2005. 11 p.

