



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos (ERIS)

**CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E  
INDUSTRIALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE  
CHIMALTENANGO Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO**

**Ing. Felipe Andrés Duarte Díaz**

**Inga. Mónica Pamela Mejía Doradea**

Asesorado por el Msc. Ing. Joram Matías Gil Larroj

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E  
INDUSTRIALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE  
CHIMALTENANGO Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

**ING. FELIPE ANDRÉS DUARTE DÍAZ**

**INGA. MÓNICA PAMELA MEJÍA DORADEA**

ASESORADO POR EL MSC. ING. JORAM MATÍAS GIL LAROJ

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS DE INGENIERÍA  
SANITARIA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y  
RECURSOS HIDRÁULICOS**

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Matías Gil Laroj
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

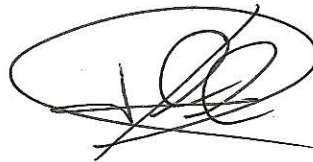
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO

Tema que nos fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, el 29 de marzo de 2011.



**Inga. Mónica Pamela Mejía Doradea**  
monicapamelamejia@hotmail.com  
Carné No. 100020236



**Ing. Felipe Andrés Duarte Díaz**  
felipeandresduarte@hotmail.com  
Carné: 100020249



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Guatemala, 15 de mayo de 2014

**Señores**  
**Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado**  
**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Respetuosamente les comunico que he revisado en mi calidad de asesor el documento de Estudio Especial titulado:

**“CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO”,**

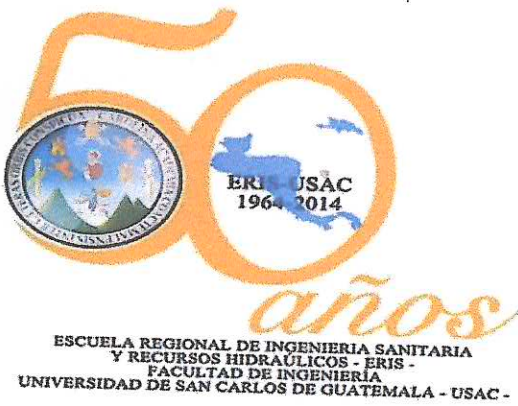
Presentado por los estudiantes de la maestría en Ingeniería Sanitaria:

Ingeniero Civil Felipe Andrés Duarte Díaz  
e Ingeniera Química Mónica Pamela Mejía Doradea.

Les manifiesto que los estudiantes cumplieron en forma satisfactoria con los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) para la obtención del grado académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, en la realización del estudio.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de ustedes, atentamente,

MSc. Ing. Joran Matías Gil Laroj  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, 25 de julio de 2014

Señores

**Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)**

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Ingeniería Sanitaria, el trabajo de Estudio Especial titulado:

**“CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO”,**

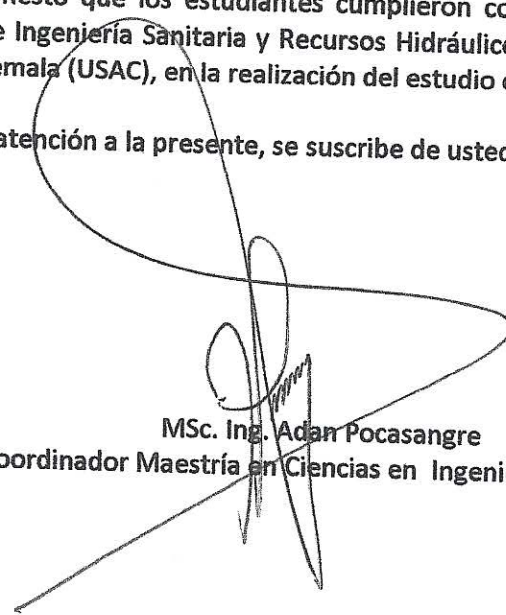
Presentado por los estudiantes de la maestría en Ingeniería Sanitaria:

Ingeniero Civil Felipe Andrés Duarte Díaz  
e Ingeniera Química Mónica Pamela Mejía Doradea.

En tal virtud, manifiesto que los estudiantes cumplieron con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), en la realización del estudio en forma satisfactoria.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes.

Atentamente,



MSc. Ing. Adan Pocasangre  
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria



*años*

ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los siguientes profesores: Msc. Ing. Adán Pocasangre, MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis, MSc. Ing. Zenón Much Santos; así como el visto bueno del coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria, MSc. Ing. Adán Pocasangre, y la revisión de lingüística realizada por la Licenciada Rosa Amelia González Domínguez, colegiada No. 5284 al trabajo de los estudiantes: Ingeniero Civil Felipe Andrés Duarte Díaz e Ingeniera Química Mónica Pamela Mejía Doradea, titulado:

**CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS E INDUSTRIALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO Y SU PROPUESTA DE TRATAMIENTO**

En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo.

Guatemala, 07 de agosto de 2014.

**IMPRÍMASE**

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis  
DIRECTOR  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos



Guatemala, 24 de julio de 2014

Ingeniero Pedro Saravia  
Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Saravia:

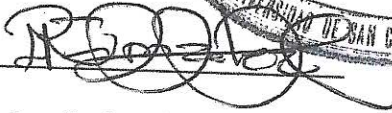
Por este medio extiendo constancia a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria: **Caracterización de aguas residuales domésticas e industriales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango y su propuesta de tratamiento**, de los estudiantes: ingeniero **Felipe Andrés Duarte Díaz** (carné: 100020249) e ingeniera **Mónica Pamela Mejía Doradea** (carné: 100020236).

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,



(f) y sello

  
Licda. Rosa Amelia González Domínguez  
Unidad de Lingüística  
Facultad de Ingeniería

*Rosa Amelia González Domínguez*  
LICENCIADA EN LETRAS  
Colegiado No. 5284



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**El MSc. Ing. Joram Gil,  
MSc. Ing. Pedro Saravia**

Por la valiosa y acertada asesoría para este trabajo.

**El personal de la Maestría  
en Ingeniería Sanitaria:  
Ing. MSc. Juan José  
Sandoval, Ing. MSc. Pedro  
Saravia Celis, Ing. MSc.  
Zenón Múch, Ing. MSc.  
Joram Gil, Ing. M.Sc.  
Julián Duarte, MSc. Ing.  
Félix Aguilar, Dra. Malvina  
de León, MSc. Ing. Adán  
Pocasangre, MSc. Inga.  
Marta Lidia Samayoa,  
Licda. Dora María Cardoza,  
Sra. Frida Faggioly de  
Cáceres, Sra. Jeannette  
Alegría de Mejía**

Por compartir sus valiosos conocimientos y apoyo.

**Nuestros compañeros de  
promoción**

Por su amistad.

**La Municipalidad de Tecpán, Departamento de Chimaltenango, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Asociación Civil Ambiental Xayá y a la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala**

Por confiar la información, permitarnos conocer la situación y por el acompañamiento brindado para este estudio.

**A nuestras familias y seres queridos**

Porque aportaron en nuestra formación personal y profesional, a ustedes dedicamos el éxito de esta meta alcanzada.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XVII
General .....	XVII
Específicos .....	XVII
LIMITANTES .....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
ANTECEDENTES .....	XXIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXVII
JUSTIFICACIÓN.....	XXIX
INTRODUCCIÓN .....	XXXIII
1.    MARCO TEÓRICO .....	1
1.1.    Aguas residuales de origen industrial: tinción de textiles .....	1
1.2.    Caracterización del agua residual: parámetros físicos, químicos relevantes .....	2
1.3.    Parámetros bacteriológicos relevantes en agua residual .....	5
2.    DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA .....	7

3.	CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES .....	11
3.1.	Descripción del lugar en estudio .....	11
3.2.	Descripción de los cuatro puntos de muestreo ubicados y evaluados de descargas de aguas residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango .....	11
3.3.	Muestreo .....	13
3.4.	Resultados obtenidos de la caracterización de aguas residuales descargadas al río Xayá por el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango en cuatro puntos de muestreo previamente identificados .....	14
3.5.	Análisis de resultados en comparación con el AG 236-2006 ...	44
3.6.	Comparación entre el punto 1 y el punto 4 .....	46
3.6.1.	Carga contaminante .....	52
3.7.	Análisis comparativo con resultados de datos proporcionados por EMPAGUA en 3 puntos de muestreo coincidentes .....	53
4.	PROPUESTA DE TRATAMIENTO .....	61
4.1.	Propuesta de ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) .....	61
4.2.	Síntesis de cuatro procesos de tratamiento de aguas residuales, como propuestas analizadas ponderadas con base en nueve factores .....	63
4.3.	Fundamentación teórica para la elección del tratamiento propuesto .....	65
4.4.	Propuesta de tratamiento .....	67
4.4.1.	Pretratamiento .....	68
4.4.2.	Tratamiento primario: lagunas facultativas primarias .....	69

4.4.3.	Tratamiento secundario: lagunas de maduración con mamparas de flujo .....	72
4.4.4.	Tratamiento terciario: filtro percolador con piedra.....	73
4.5.	Consideraciones hidráulicas para el tratamiento propuesto .....	76
5.	<b>PLAN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN.....</b>	<b>79</b>
5.1.	Marco legislativo .....	81
5.2.	Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA).....	85
5.3.	Marco institucional .....	87
5.3.1.	Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM).....	90
5.4.	Marco Lógico Global basado en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM).....	93
5.5.	Marco conceptual .....	107
5.5.1.	Componentes.....	107
5.6.	Presupuesto estimado.....	109
5.6.1.	Análisis presupuestario .....	111
	CONCLUSIONES.....	113
	RECOMENDACIONES.....	115
	BIBLIOGRAFÍA .....	119
	ANEXOS .....	127



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Ubicación del municipio de Tecpán .....	9
2.	Ubicación de puntos de muestreo, municipio de Tecpán, Departamento de Chimaltenango .....	13
3.	Resultados de parámetro: temperatura .....	19
4.	Resultados de parámetro: color .....	20
5.	Resultados de parámetro: turbiedad.....	22
6.	Resultados de parámetro: potencial de hidrógeno .....	24
7.	Resultados de parámetro: conductividad eléctrica .....	25
8.	Resultados de parámetro: sólidos disueltos totales .....	26
9.	Resultados de parámetro: sólidos suspendidos .....	27
10.	Resultados de parámetro: sólidos sedimentables .....	28
11.	Resultados de parámetro: nitrógeno total .....	30
12.	Resultados de parámetro: nitratos .....	32
13.	Resultados de parámetro: fósforo total .....	33
14.	Resultados de parámetro: fosfatos .....	35
15.	Resultados de parámetro: demanda bioquímica de oxígeno .....	36
16.	Resultados de parámetro: demanda química de oxígeno .....	37
17.	Resultado de parámetro: oxígeno disuelto .....	40
18.	Resultados de parámetro: coliformes fecales .....	42
19.	Comparación de temperatura entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 ) molinos Helvetia .....	46
20.	Comparación de color entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia) .....	47

21.	Comparación de turbiedad entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia).....	47
22.	Comparación del potencial de hidrógeno entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia).....	48
23.	Comparación de la conductividad eléctrica entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia) .....	48
24.	Comparación de sólidos disueltos totales entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia) .....	49
25.	Comparación de sólidos suspendidos entre el punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia) .....	49
26.	Comparación de sólidos sedimentables entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia) .....	50
27.	Comparación de nitratos entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia).....	50
28.	Comparación de fósforo total entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia).....	51
29.	Comparación de fosfatos entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia).....	51
30.	Comparación de DBO <sub>5</sub> entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia).....	52
31.	Resultados de EMPAGUA, punto 4 .....	54
32.	Resultados de EMPAGUA, punto 2 .....	56
33.	Resultados de EMPAGUA, punto 1 .....	58
34.	Propuesta de ubicación.....	61
35.	Esquema de tratamiento propuesto .....	68
36.	Esquema general de propuesta de tratamiento .....	75
37.	Perfil hidráulico .....	78
38.	Estructura para obtención del Plan .....	79
39.	Pirámide de Kelsen para la evaluación del componente político.....	82



## TABLAS

I.	Descripción de puntos de muestreo .....	12
II.	Punto 1: antes de la primera descarga.....	15
III.	Punto 2: primera descarga .....	16
IV.	Punto 3: segunda descarga .....	17
V.	Punto 4: molinos Helvetia .....	18
VI.	Análisis estadístico de las mediciones de temperatura en grados Celsius .....	20
VII.	Análisis estadístico de las mediciones del color en unidades de color.....	22
VIII.	Análisis estadístico de las mediciones de turbiedad en UNT .....	23
IX.	Análisis estadístico de las mediciones del potencial de hidrógeno .....	25
X.	Análisis estadístico de las mediciones de la conductividad eléctrica...26	
XI.	Análisis estadístico de las mediciones de sólidos disueltos totales .....	27
XII.	Análisis estadístico de las mediciones de sólidos suspendidos .....	28
XIII.	Análisis estadístico de las mediciones de sólidos sedimentables .....	30
XIV.	Análisis estadístico de las mediciones del nitrógeno total .....	31
XV.	Análisis estadístico de las mediciones de nitratos .....	33
XVI.	Análisis estadístico de las mediciones de fósforo total.....	34
XVII.	Análisis estadístico de las mediciones de fosfatos.....	36
XVIII.	Análisis estadístico de las mediciones de DBO <sub>5</sub> .....	37
XIX.	Análisis estadístico de las mediciones de DQO .....	39
XX.	Relación DBO <sub>5</sub> /DQO .....	39
XXI.	Biodegradabilidad .....	40
XXII.	Análisis estadístico de las mediciones de OD.....	41
XXIII.	Análisis estadístico de las mediciones de coliformes fecales .....	43
XXIV.	Valores permitidos para aguas residuales de origen textil.....	44
XXV.	Cálculo de carga contaminante .....	53

XXVI.	Comparación de resultados, molinos Helvetia.....	54
XXVII.	Comparación de resultados, primera descarga .....	55
XXVIII.	Comparación de resultados, punto 1 o primera descarga .....	57
XXIX.	Procesos de tratamiento .....	64
XXX.	Misión y visión de la Municipalidad de Tecpán.....	80
XXXI.	Matriz FODA del municipio de Tecpán.....	86
XXXII.	Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM), ejes de desarrollo y objetivos .....	94
XXXIII.	Plan de Gestión de Aguas Residuales Municipales, Componente de Fortalecimiento Municipal y Asociativo, objetivo estratégico 1.1. 101	
XXXIV.	Plan de Gestión integral de aguas residuales municipales, Componente de Fortalecimiento Municipal y Asociativo, objetivo Estratégico 2.1.....	102
XXXV.	Plan de Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales, Componente de Infraestructura, objetivo estratégico 2.1. ....	103
XXXVI.	Plan de Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales, Componente de Infraestructura, objetivo estratégico, 3.1. ....	104
XXXVII.	Plan de Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales, Componente de Gobernabilidad, objetivo estratégico 3.1 .....	105
XXXVIII.	Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales 2011-2017.....	106
XXXIX.	Cálculo de presupuesto estimado .....	110

## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>ACAX</b>	Asociación Civil Ambiental Xayá
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>BCIE</b>	Banco Centroamericano de Integración Económica
<b>BM</b>	Banco Mundial
<b>CEUR</b>	Centro de Estudios Urbanos y Regionales
<b>CEPREDENAC</b>	Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central
<b>CIPREDA</b>	Centro de Cooperación Internacional para la Preinversión Agrícola Guatemala – México
<b>COCODES</b>	Consejos Comunitarios de Desarrollo
<b>CONAP</b>	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
<b>COMUDES</b>	Consejos Municipales de Desarrollo
<b>EMPAGUA</b>	Empresa Municipal de Agua de Ciudad de Guatemala
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
<b>EPS</b>	Ejercicio Profesional Supervisado
<b>GWP</b>	Global Water Partnership
<b>IARNA</b>	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar
<b>INFOM</b>	Instituto de Fomento Municipal
<b>IGSS</b>	Instituto Guatemalteco de Seguridad Social

<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
<b>PARPA</b>	Programa de Apoyo a la Reconversión Productiva y Agroalimentaria
<b>PDM</b>	Plan de Desarrollo Municipal 2011-2025, Tecpán, Chimaltenango, Guatemala
<b>SEGEPLAN</b>	Secretaría de Planificación y Programación de la República de Guatemala
<b>USAC</b>	Universidad de San Carlos de Guatemala

## GLOSARIO

<b>Aguas residuales</b>	Aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
<b>Coliformes fecales</b>	El parámetro que indica la presencia de contaminación fecal en el agua y de bacterias patógenas.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno. Medida indirecta del contenido de materia orgánica que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante 5 días.
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno. La medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.
<b>Límite máximo permisible</b>	Valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido.
<b>Muestra</b>	Parte representativa a analizar.

<b>Muestra compuesta</b>	Dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se adicionan para obtener un resultado de las características de aguas residuales.
<b>Muestra simple</b>	Muestra tomada en una sola operación que representa las características de las aguas residuales.
<b>Parámetro</b>	Variable que identifica una característica de las aguas residuales, asignándole un valor numérico.
<b>Punto de descarga</b>	Sitio en el cual el efluente de aguas residuales es dispuesto en un cuerpo receptor.
<b>Servicios públicos municipales</b>	Aquellos que de acuerdo con el Código Municipal, prestan las municipalidades directamente o los concesionan y que generan aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas.
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	Proceso físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

## RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo principal de determinar parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, para proponer posteriormente un tratamiento adecuado.

Se solicitó autorizaciones a la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA) y a la Municipalidad de Tecpán para realizar un recorrido y evaluación de las descargas de agua residual más representativas del municipio, donde se determinaron 4 puntos de muestreo (2 descargas y 2 en el curso del río Xayá) que se esquematizan en la figura No. 2 y se denominaron de la siguiente forma: punto 1: antes de la primera descarga; punto 2: primera descarga; punto 3: segunda descarga; punto 4: molinos Helvetia.

Se procedió a la recolección de muestras de aguas residuales en los puntos de muestreo en cinco oportunidades durante abril y mayo de 2011. Se determinaron los valores de los siguientes parámetros: temperatura, potencial de hidrógeno, color, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, nitrógeno total, fósforo total, DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes fecales en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini.

Se hizo la comparación entre el punto 1 y punto 4 con el objeto de verificar el impacto de las descargas sobre el río Xayá, de donde se obtiene que en promedio los valores que aumentaron son: color, turbiedad, potencial de hidrógeno, sólidos sedimentables y nitratos. Los resultados promedio que tuvieron comportamiento similar son: la conductividad eléctrica, sólidos suspendidos, fósforo y DBO<sub>5</sub>. Los valores con promedio que descendieron son: sólidos disueltos totales y fosfatos.

Se hizo el tratamiento estadístico de los resultados, los mismos se compararon con lo requerido por el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. También el análisis de los resultados obtenidos por EMPAGUA, realizados del 2006 al 2010 en 3 puntos de muestreo coincidentes.

De acuerdo al Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, los parámetros que están sobre los límites máximos permisibles y se consideran críticos son: sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub> y coliformes fecales; los resultados del color y el potencial de hidrógeno tienen un comportamiento promedio ligeramente mayor a los límites máximos permisibles.

De acuerdo a la comparación con los resultados obtenidos por EMPAGUA, los parámetros que en promedio han aumentado considerablemente son: color, turbiedad, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, DQO, DBO<sub>5</sub>, fosfatos y coliformes fecales. En el punto de muestreo ubicado en molinos Helvetia, el valor de todos los parámetros es constante entre los dos estudios.



Con base en los resultados se propone un tratamiento biológico con pretratamiento, lagunas de estabilización facultativas y sedimentación secundaria y para integrar esta solución técnica, se propone un plan integral de gestión de aguas residuales que coadyuve los elementos involucrados para operativizar y garantizar el manejo integral de las aguas residuales.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de las aguas residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, para propuesta del Plan Integral de Gestión de Aguas Residuales Municipales.

### **Específicos**

1. Caracterizar el agua residual del municipio de Tecpán descargada al río Xayá, departamento de Chimaltenango.
2. Evaluar el cumplimiento de parámetros físicos, químicos con el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. Realizar análisis comparativo entre los resultados obtenidos aguas arriba y aguas abajo de las descargas, para medición de efecto de las descargas evaluadas.
4. Realizar análisis de los resultados proporcionados por EMPAGUA.
5. Proporcionar recomendaciones de tratamiento para mejorar la calidad del agua residual del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango.

6. Proponer un plan integral de gestión de aguas residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango.

## LIMITANTES

Debido al factor económico, no se realizaron todos los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos recomendados en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

Existen más descargas de aguas residuales desde el municipio de Tecpán, Chimaltenango, que no fueron tomadas en cuenta en este estudio.

La propuesta general técnica de manejo de aguas residuales es válida si los valores de los parámetros medidos es constante.



## **HIPÓTESIS**

Los valores de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua residual descargada por el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, hacia el río Xayá están bajo los límites máximos permisibles recomendados por el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 y no tienen impacto significativo en el cuerpo de agua.





## ANTECEDENTES

Desde la época de La Colonia, el servicio de agua es una prioridad para aquellos que tienen cierta posición económica y/o política. Los drenajes se convirtieron en problema de salubridad al final del siglo XVIII, la construcción de los primeros drenajes no fueron una solución a los problemas de saneamiento; sino resultaron contraproducentes.

En 1968, el Gobierno de Guatemala tomó la decisión de construir el acueducto denominado Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá que aumentó la cobertura de agua potable y en 1971 convinieron en formar la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala según Valladares, 2011. Lo anterior ha permitido que se realicen esfuerzos para garantizar la calidad del agua captada por EMPAGUA para potabilizarla y luego suministrarla a un porcentaje de la población de la ciudad de Guatemala, sea de calidad aceptable.

En el informe del Plan de Manejo de la Subcuenca de los ríos Xayá-Pixcayá realizado en el 2001, se pretendía negociar la implementación de un cobro a los usuarios del servicio de agua de la ciudad de Guatemala, para invertir en la conservación de la zona de captación hídrica en la microcuenca del río Xayá, en compensación por el rol que dicha zona juega en la calidad del agua que se consume en la ciudad capital. El objetivo era lograr la concreción de un acuerdo entre la Asociación Civil Ambiental Xayá (ACAX) y EMPAGUA. Hasta el momento, no hay un reconocimiento económico por el servicio hídrico de los beneficiados hacia la Municipalidad de Tecpán. Con la valorización del metro cúbico de agua captado por la microcuenca y transportado hacia la

capital por medio del acueducto, es necesario que dicho valor se adicione a la tarifa que se cobra por el servicio. El gran reto para la permanencia del mecanismo es hacerlo sostenible financieramente.

La calidad debilitada del agua captada por el acueducto, incrementan los costos por el tratamiento del agua por parte de EMPAGUA.

El ámbito legal relacionado incluye la Ley Forestal (Decreto Legislativo 101-96), la Ley de Áreas Protegidas (Decreto 4-89) que actúa a través del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) con un vínculo indirecto con la Ley de Medio Ambiente (Decreto 68-86), la Ley del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Decreto 90-2000), la Ley de Consejos de Desarrollo (Decreto 11-2002), el Código Municipal (Decreto 12-2002) y la Ley de Descentralización (Decreto 14- 2002), la cual le da autonomía a los gobiernos locales para la gestión, manejo y conservación de los recursos naturales bajo su responsabilidad.

EMPAGUA realizó análisis físicos, químicos y bacteriológicos del 2006 al 2010, en 3 puntos de muestreo que coinciden con este estudio: antes de la descarga, después de la primera descarga y molinos Helvetia, cuyas ubicaciones se encuentran descritas en la figura No. 2. Para el primer punto, se hicieron los muestreos del 2008 al 2010. Para el segundo, durante el 2008. De los parámetros analizados, los sólidos suspendidos en mg/L, fueron los que en promedio están por encima de los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Los parámetros medidos en el punto de muestreo “molinos Helvetia” durante el 2008, se encontraron dentro del rango permisible.

El Comité de la Microcuenca del río Xayá y el Programa de Apoyo a la Reconversión Productiva y Agroalimentaria (PARPA) en el 2008 formuló un plan de acción para la negociación de reconocimiento económico al servicio ambiental de recurso hídrico entre la microcuenca del río Xayá y EMPAGUA, como instrumento de gestión y manejo integral de los recursos naturales para el abastecimiento de agua potable en la ciudad de Guatemala, quedando sin implementación real. Se concluyó que las aguas superficiales del río Xayá y sus efluentes, no tienen tratamiento antes de ser vertidos y son utilizados como vía para desechos sólidos, agua de origen doméstico e industrial (teñido de hilo para la elaboración de suéteres), que ha contribuido en la degradación del recurso hídrico superficial; evidenciándose en la presencia de coliformes totales, impidiendo que pueda ser utilizada para el abastecimiento de agua (solo si tiene previo tratamiento). La valoración hídrica de la subcuenca de los ríos Xayá-Pixcayá se estimó en  $Q16,90/m^3$ .

En el informe realizado por el Laboratorio Nacional de Salud en 2009 presentan 6 análisis de parámetros físicos y químicos realizados con muestra compuesta en el río Xayá, siendo el color y los sólidos suspendidos totales los parámetros que están, en promedio, por encima de los límites máximos permisibles.

En 2010, Pinzón Gamboa buscó determinar la viabilidad técnica de utilizar la electrocoagulación para eliminar contaminación de colorantes de origen textil del río Xayá. La cantidad óptima para el manejo de la celda de electrocoagulación con este diseño específico es de 1,0 amperios, ya que con esta cantidad de corriente se puede remover, con un 90 % de confianza, más del 95 % de turbiedad y de color presente en el agua tratada.

En 2010, Avendaño Flores concluyó que el lecho filtrante de carbón activado remueve aproximadamente el 73 % de color en aguas residuales de efluente líquido de origen textil, que es más eficiente que el 22 % de remoción de color con lecho filtrante de carbón vegetal sin activar.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua residual descargada por la Municipalidad de Tecpán no tiene ningún tratamiento previo y presenta coloración provocada posiblemente por la actividad económica propia del municipio: tinciones de hilo y telas industriales y/o artesanales. Dicha Municipalidad no tiene una Unidad de Agua y Saneamiento, por lo que estos temas son poco o nada estudiados, analizados y corregidos.

Pobladores dedicados a tinciones artesanales no dan información respecto a la frecuencia, tiempo y tipo de colorantes; por miedo a que se les limite continuar con la actividad con la que sobreviven. Esto dificulta obtener datos de puntos de descarga, volumen y calidad.

La Municipalidad de Tecpán no tiene un apoyo gubernamental que provea asesoría técnica que permita el mejoramiento de la calidad del agua descargada de este municipio.

El municipio de Tecpán está en la postura, que hasta el momento no existe ninguna inversión por parte de EMPAGUA, en cuanto a pago por servicios ambientales y la empresa requiere solución al color que presentan las aguas residuales, así como mediciones continuas y controladas de la calidad del agua descargada de parte de la Municipalidad de Tecpán, que garanticen resultados conforme al Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

Debido a un conflicto político-social-económico entre dos instituciones, no ha sido posible brindar una solución técnica para tratar adecuadamente las aguas residuales de la Municipalidad de Tecpán, que posteriormente utiliza la planta Lo de Coy para abastecer de agua potable a la población de la ciudad de Guatemala.

Si algún ente involucrado realiza estudios, los datos no son expuestos totalmente para su análisis, discusión y mejora, por lo que la situación prevalece a través del tiempo sin ninguna solución.

En los puntos de descarga, no hay un muestreo continuo que permita conocer la calidad del agua residual del municipio de Tecpán, lo que resulta en la falta de datos para tomar decisiones y conocer si cumple o no con el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) es un ente que brindará apoyo técnico imparcial ante la falta de estudios continuos que permitan mejorar la calidad del agua residual. ¿La determinación de la calidad del agua residual respaldará la toma de decisiones de las autoridades municipales y otras pertinentes, para crear el mecanismo adecuado de tratamiento y así preservar el ambiente, la salud y la calidad de los cuerpos receptores?

## JUSTIFICACIÓN

La industria textil consume grandes cantidades de agua, energía y productos químicos auxiliares. Además genera una gran cantidad de agua residual; estos efluentes normalmente poseen elevadas concentraciones de colorantes, contaminantes orgánicos refractarios, compuestos tóxicos, componentes inhibidores, tensoactivos, componentes clorados. Por lo tanto, se constituyen en uno de los efluentes de difícil tratamiento.

El municipio de Tecpán, como aparece en la siguiente figura, es uno de los mayores en extensión territorial, por lo que su aporte al río Xayá (uno de los principales ríos de la microcuenca) es importante. Se estima que un 92 % de la población dispone de servicio sanitario, pero solamente un 25 % de estos se conectan a un sistema de drenaje municipal. El sistema de drenajes en el área urbana es insuficiente para evacuar las aguas servidas en la actualidad y como no existe un sistema de tratamiento de las aguas residuales, los problemas de contaminación son latentes en todo el municipio. (Plan de Desarrollo Municipal 2011-2025).

El mecanismo de compensación del río Xayá tiene un ámbito de acción local y surge en respuesta a la finalización del otorgamiento de los incentivos forestales del Estado hacia las áreas de captación hídrica de la microcuenca. Dichos incentivos los suministraron el Instituto Nacional de Bosques (INAB) por medio del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) y del PARPA, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), entidades que subsidiaron la plantación de nuevos bosques y la conservación de bosques naturales ya existentes. La finalización de los subsidios del Estado condujo a

los propietarios beneficiados del incentivo, así como a la Municipalidad y a algunas comunidades rurales del municipio de Tecpán, a buscar un esquema que dé continuidad a los logros alcanzados en materia de conservación de la microcuenca.

En el ámbito local existen voluntad política y preocupación de parte de las autoridades por encontrar soluciones frente al deterioro de la microcuenca del río Xayá, pero lo más importante es el interés y la voluntad de la sociedad civil organizada en el Sistema de Consejos de Desarrollo, asociaciones de productores, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y representantes de las fincas privadas, para asumir el reto e iniciar procesos legítimos que contribuyan al manejo sostenible de la microcuenca. Para ello se conformó la Asociación Civil Ambiental Xayá (ACAX), responsable de liderar el proceso.

En 2007 el PARPA del MAGA, a través del Programa Piloto de Apoyos Forestales Directos (PPAFD) y un grupo promotor conformado por instituciones como el INAB y CONAP realizaron un estudio técnico en la microcuenca del río Xayá. Con base en él, se formuló el Plan de Acción para la Gestión del Reconocimiento Ambiental al Servicio de Captación Hídrica que proporcionan los bosques de Tecpán a la ciudad de Guatemala.

Para ello fue necesaria la voluntad de los actores a nivel local, representados a través de la ACAX que involucra a los actores oferentes y demandantes del servicio hídrico que abastece a la ciudad de Guatemala; en tanto la Municipalidad de Guatemala y EMPAGUA funcionan como la unidad administradora de la distribución de este recurso. Lo que se pretendió, sin concluir satisfactoriamente, es negociar la implementación de un cobro a los usuarios del servicio de agua de la ciudad de Guatemala para invertir en la conservación de la zona de captación hídrica en la microcuenca del río Xayá,



en compensación por el rol que dicha zona juega en la calidad del agua que se consume. En ese orden de ideas, el objetivo básico del mecanismo es lograr la concreción de un acuerdo entre la ACAX y EMPAGUA.

El río Xayá tributa diariamente un caudal de 36 288 m<sup>3</sup>/día, beneficiando a 180 mil habitantes. (López, 2006). En términos de calidad, el agua es mala, pero en términos cuantitativos, es la principal fuente de abastecimiento. Además, es la de menor costo por tratarse de agua superficial, en contraposición al agua subterránea, cuyo costo de extracción es más alto. No obstante al valor estratégico de la microcuenca, no existe ninguna inversión por parte de EMPAGUA, lo que pone en riesgo el abastecimiento del líquido en el futuro.

Con base en la Meta No. 7 de los Objetivos del Milenio que propone la reducción de pérdida de los recursos del ambiente, de la importancia hidrológica, del atractivo turístico, de la garantía en el saneamiento de poblaciones aguas abajo y la posición estratégica de la subcuenca del río Xayá-Pixcayá, departamento de Chimaltenango y la ciudad de Guatemala, distintos sectores han participado en el tema de la contaminación originada por la tinción de textiles en el municipio de Tecpán, porque el agua residual es vertida sin ningún tratamiento y esta funciona como materia prima para suministrar agua potable al 68,8 % de la ciudad de Guatemala (INE, 2009).

A pesar de los esfuerzos, la solución parece lejana e inconclusa. Este estudio se realiza para poder servir como insumo para EMPAGUA y a la Municipalidad de Tecpán para cumplir con la Ley de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, el Código Civil y la Constitución Política de la República de Guatemala.



## INTRODUCCIÓN

La economía ha establecido que un proyecto es socialmente provechoso en la misma medida en que satisface sus necesidades económicas. Esta percepción económica ha llevado hasta el extremo de agotar su entorno, con la justificación de que el problema sería solucionado por la ciencia y la tecnología posteriormente. Un crecimiento de población más demandante y el deterioro de la naturaleza, generó una advertencia sobre la imposibilidad de continuar con la percepción de una naturaleza al servicio de la humanidad. El sentido común plantea la necesidad de cambiar el comportamiento cultural hacia la naturaleza, para modificar una situación que requiere más que solo inyectar tecnología, ciencia y energía al entorno.

La situación ambiental de Guatemala indica una ausencia de cultura generalizada que se traslada a un tema específico: la falta de un sistema integral en el manejo de aguas residuales. Existen intereses económicos y políticos que prevalecen sobre la conservación del recurso hídrico, además de gestiones propiamente administrativas como la Ley de Aguas que el Congreso de la República de Guatemala no ha podido aprobar y dejar de ser únicamente un anteproyecto de ley. Aunque existen leyes relacionadas al tema como la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Reglamento y Regulación Ambiental, Código Municipal, Código de Salud, no tienen incidencia directa sobre el uso adecuado del agua; además, no hay una aplicación real ni verificación del cumplimiento.

Todos los procesos industriales y domésticos producen aguas residuales que retornan al ambiente. Las aguas residuales de tipo especial presentan un

riesgo potencial de contaminación causando daños químicos potenciales al ambiente directa o indirectamente. La situación particular del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, en cuanto a la disposición final de las aguas residuales, está determinada por una de las importantes actividades económicas: la de tinción de textiles. Una actividad que ha permitido el desarrollo social del lugar pero que ha tenido un impacto sobre las descargas del agua utilizada en dichos procesos hacia el río Xayá. Las aguas residuales de origen textil pueden presentar el efecto carcinogénico, mutagénico y el deterioro al ambiente que generan los colorantes al ser dispuestos en fuentes superficiales, (Ghoreischi, 2001).

# 1. MARCO TEÓRICO

El agua es un recurso finito, vulnerable, bien social, bien económico y bien ambiental según Gil, 2010. “Todos los procesos producen aguas residuales que retornan al medio ambiente...los sistemas normales de tratamiento de este tipo de aguas se gestionan a fin de limitar la dispersión de microorganismos patógenos que pudieran causar enfermedades. Algunas aguas residuales son directamente biodegradables y otras son tóxicas y representan riesgo potencial para el medio ambiente.”<sup>1</sup>

## 1.1. Aguas residuales de origen industrial: tinción de textiles

Las aguas residuales industriales no presentan un riesgo potencial de contaminación por microorganismos patógenos, pero sí lo poseen en cuanto a los daños potenciales provocados al ambiente, tanto de forma directa como indirecta por las reacciones químicas que ocasionan. Un tipo de agua residual industrial es directamente biodegradable y genera una demanda inmediata de oxígeno. Otro tipo son tóxicas y representan un riesgo potencial. La composición orgánica varía ampliamente de una muestra a otra y de una industria a otra.

El agua residual puede presentar deficiencias en compuestos inorgánicos específicos. La biodegradación de los compuestos orgánicos requiere cantidades adecuadas de nitrógeno, fósforo, hierro y sales.

---

<sup>1</sup>PERRY, Robert; DON, Green. *Manual del Ingeniero Químico*, p. 25-74.

## 1.2. Caracterización del agua residual: parámetros físicos, químicos relevantes

Las aguas residuales tienden a presentar una temperatura mayor a la del cuerpo receptor. La temperatura no es un factor crítico, pero es necesario que se encuentre por debajo de los 37 °C siempre que se vaya a proceder a un tratamiento biológico. La temperatura ocasiona una disminución en la velocidad de la reacción en tratamientos químicos y biológicos. La viscosidad de las aguas residuales se incrementan al disminuir la temperatura, provocando una separación de sólidos más difícil.

El color de las aguas residuales es producido principalmente por sulfuros metálicos. Si es de origen industrial, puede indicar contaminación, deterioro de los procesos productivos. “Entre los residuos industriales de color fuerte se tienen los de la industria de colorante de textiles”.<sup>2</sup>

“La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sustancias ionizadas”<sup>3</sup>, así como la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido. Las unidades pueden ser microSiemens por metro (uS/m). La corriente eléctrica resulta del movimiento de partículas cargadas eléctricamente y como respuesta a las fuerzas que actúan en estas partículas debido a un campo eléctrico aplicado. La cantidad de sólidos totales disueltos es una medida de la concentración total de iones en solución. La conductividad eléctrica es una medida de la actividad iónica de una solución en términos de su capacidad para transmitir corriente. En soluciones en dilución, estos dos parámetros son comparables; siendo los sólidos disueltos 0,5 veces la conductividad eléctrica.

---

<sup>2</sup> ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales*, p. 37.

<sup>3</sup>USAC, Facultad de Ingeniería, ERIS, Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, *Manual de Prácticas de Laboratorio, Química del Agua*.

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente para su remoción, oxidación biológica, coagulación o sedimentación. Los sólidos suspendidos o no disueltos, constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada.

El oxígeno disuelto es un “gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia”<sup>4</sup> en las aguas residuales debería ser máximo cuando son vertidas y un mínimo de compuestos que demanden oxígeno, para que el oxígeno disuelto se mantenga a un nivel aceptable de 5mg/L, según Environmental Protection Agency (*EPA*, por sus siglas en inglés), puesto que el suministro de oxígeno en procesos posteriores debe ser suficiente para satisfacer la demanda de la masa microbial en el sistema de tratamiento.

La demanda biológica de oxígeno a los cinco días ( $DBO_5$ ) es una medida de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos; así como la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable. En el análisis de este parámetro, se determina la demanda de oxígeno que provocan las sustancias orgánicas evacuadas por los vertidos industriales al cuerpo de agua que los recibe. Se determina la demanda de oxígeno de un tipo de agua expuesto a la acción de microorganismos durante un período de incubación de 5 días. Esta demanda es debida a la degradación de las sustancias orgánicas.

Es el parámetro más utilizado para medir la calidad de aguas residuales y así determinar el diseño de unidades de tratamiento biológico.

---

<sup>4</sup> ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales*, p. 64.

En la determinación del DQO se emplea un oxidante químico fuerte en presencia de un catalizador y calor; este agente químico oxida la muestra. Las aguas residuales de origen textil, contienen altas concentraciones de compuestos inorgánicos como resultado de la incorporación al agua de sustancias químicas durante los procesos de fabricación. En general, se espera que la DQO sea similar a la última medición de DBO<sub>5</sub>. En aguas industriales existen factores que hacen que lo anterior no se cumpla:

- Muchos compuestos orgánicos oxidables por sustancias químicas no son oxidables biológicamente.
- Ciertos compuestos inorgánicos como los sulfuros, sulfitos, tiosulfatos, nitritos y hierro interfieren en el resultado, según el documento de Romero, 2008.

El nitrógeno y el fósforo causan problemas de importancia en el ambiente. Pueden provocar aumento en la productividad biológica, disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto, dando lugar a la eutrofización. El fósforo no se oxida ni se reduce biológicamente, aunque por acción biológica se obtiene ortofosfato que puede eliminarse por precipitación química o por tratamiento biológico. Hay algún tipo de aguas residuales que presentan bajas concentraciones de N y P, nutrientes que se han de añadir siempre que se vaya a aplicar un tratamiento biológico de depuración, mientras que otro tipo de aguas residuales presentan altas concentraciones de dichos nutrientes.

“Las formas de interés en aguas residuales son las del nitrógeno, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos. Todas son formas interconvertibles bioquímicamente y componentes del ciclo del nitrógeno”.<sup>5</sup> Los datos del N son necesarios para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por tratamientos

---

<sup>5</sup> ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales*, p. 61.



biológicos. Si tiene contenido insuficiente, puede requerir la adición. Las bacterias descomponen el nitrógeno en nitritos y nitratos si el medio es aerobio. “El predominio de los nitratos indica que el residuo se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno. Los nitratos pueden ser utilizados para formar proteínas. En el intestino humano, el nitrato es reducido a nitrito, absorbido por el torrente sanguíneo y causante de la metahemoglobina infantil o formación de nitrosaminas, las cuales son cancerígenas”<sup>6</sup>.

Las aguas residuales tienen un olor característico desagradable generalmente producido por H<sub>2</sub>S y constituye una de las principales objeciones en las plantas de tratamiento.

### **1.3. Parámetros bacteriológicos relevantes en agua residual**

Los organismos bacteriales patógenos, si acompañan a la excretas humanas, originan uno de los problemas sanitarios más graves. “Las temperaturas inferiores o superiores a la temperatura óptima tienen efecto indeseable en el crecimiento bacterial”.<sup>7</sup>

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son difíciles de identificar, por lo que se utiliza los coliformes como indicadores de la existencia de dichos organismos que además, son productores de enfermedad.

Las bacterias coliformes son bacilos gram-negativos, aerobios y facultativos anaerobios. El grupo de coliformes totales, incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. Se considera al género *Escherichia* como la población de bacterias coliformes más representativas de contaminación fecal. El género

---

<sup>6</sup> ROMERO, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales*, p. 62.

<sup>7</sup> Op. Cif. p. 33.

Aerobacter y algunas del Eschericia pueden crecer en el suelo, es decir, no necesariamente representa contaminación fecal humana.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE TECPÁN, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Tecpán es palabra de origen mexicano formada de *tec*, "apócope de *teculli*", "soberano"; y de *pan*, "proposición locativa que equivale a residencia, palacio"; "palacio del soberano" o "residencia del soberano o monarca".

Tecpán Guatemala, municipio del departamento de Chimaltenango está a 87 kilómetros de la ciudad capital por la carretera Interamericana y se ubica en las coordenadas 14 °46' 7,5 ". Latitud norte y 90° 56' 19,44" longitud oeste. Colinda al norte de Joyabaj (Quiché), al este con Santa Apolonia y Comalapa (Chimaltenango), al sur con Santa Cruz Balanya y Patzún (Chimaltenango), al oeste con Chichicastenango (Quiché), y San Andrés Semetabaj y San Antonio Palopó (Sololá), entronca con la carretera Interamericana CA-1 aproximadamente a ½ kilómetro.

En cuanto a recursos hídricos, la oferta de caudales generados por las microcuencas (Xayá-Pixcayá) es de 1,24 m<sup>3</sup>/s, siendo el mayor aporte el río Pixcayá. Los datos referidos a la calidad muestran que desde el punto de vista físico, químico y biológico, el agua no se considera potable, sin tratamiento previo y aunque desde el punto de vista agrícola es apta para riego, la utilización actual se limita por la contaminación que presenta; según López, 2006.

No se dispone de plantas de tratamiento de aguas residuales.

De la microcuenca de Xayá, los principales afluentes son los ríos Tzancán, Panimacoc y Macoteyá, cuyos cauces se han erosionado por el mal manejo de la cobertura vegetal.

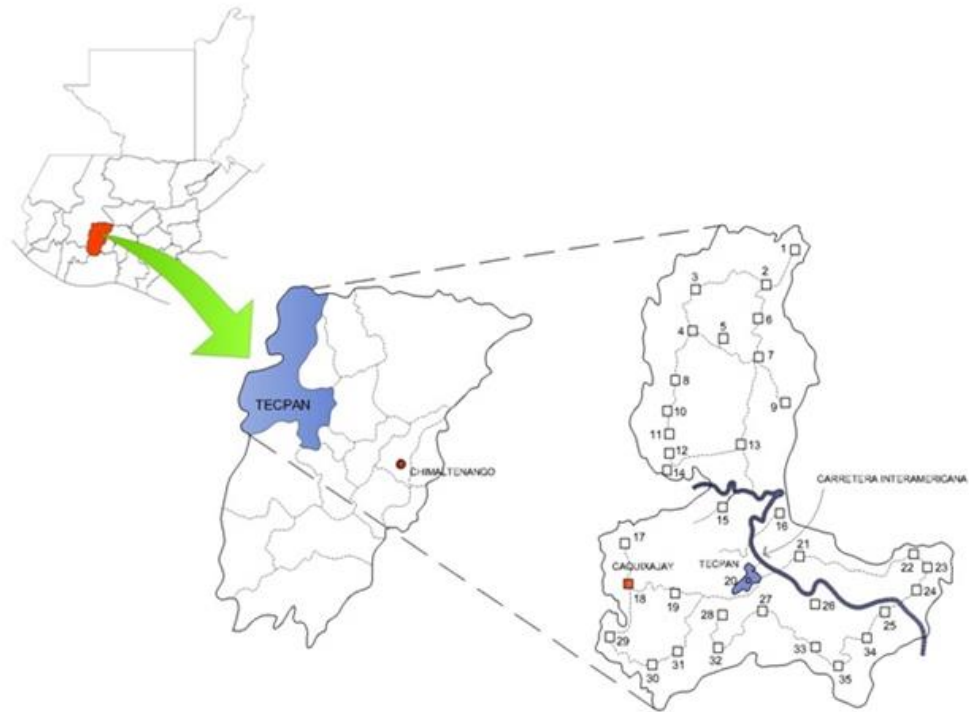
La altitud varía desde los 1 800 hasta los 3 100 msnm.

La precipitación promedio anual es de 2 730 mm.

La extensión territorial es de 201 km<sup>2</sup>.

El clima determina la actividad agrícola y la conservación de los bosques. Se considera desde invierno benigno y húmedo con invierno seco. La máxima temperatura promedio anual es de 23 °C y la mínima de 8 °C, la temperatura promedio anual es de 16 °C y de diciembre a febrero se experimentan descensos en la temperatura con un promedio mínimo de 6 °C.

Figura 1. **Ubicación del municipio de Tecpán**



Fuente: Centro de Investigaciones de Arquitectura 2011.



### **3. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

#### **3.1. Descripción del lugar en estudio**

Las dos descargas analizadas son próximas entre sí. Antes y después de estas descargas se evaluaron dos puntos de muestreo, con el objeto de evaluar el impacto de las mismas hacia el río Xayá.

Las descargas analizadas están localizadas cerca del estadio y lavadero municipal, ubicados al sur en el municipio de Tecpán. Son descargas directas al río Xayá, sin tratamiento previo alguno. Las descargas pueden ser accesadas por el público, no están identificadas. Lo anterior representa riesgo a la salud de los pobladores y animales.

#### **3.2. Descripción de los cuatro puntos de muestreo ubicados y evaluados de descargas de aguas residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango**

A continuación la descripción de los cuatro puntos de muestreo ubicados y evaluados de descargas de aguas residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango.

Tabla I. **Descripción de puntos de muestreo**

<b>Nombre del punto de muestreo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Coordenadas</b>
<b>Punto 1: antes de la primera descarga</b>	Punto en medio del cauce del río, 10 cm bajo la superficie. Agua visualmente cristalina. Fondo del río con lodo en ese punto.	14° 45' 27,34"N, 90° 5' 930,31"O
<b>Punto 2: primera descarga</b>	Descarga de aguas residuales, principalmente de uso doméstico. Se mantiene una presencia de espuma.	14° 45' 34,25"N, 90° 59' 1,37"O
<b>Punto 3: segunda descarga</b>	Descarga de aguas residuales. Diferencia visual de la anterior en cuanto al tipo de agua puesto que a partir de las 8:00 horas presenta coloraciones distintas. Está frente al lavadero municipal. Se percibe olor fétido.	14° 45' 42,78"N, 90° 59' 1,37"O
<b>Punto 4: molinos Helvetia</b>	Punto de muestreo a 10 metros después de la presa de molinos Helvetia. No se percibe olor ni coloración en el caudal que adquiere rapidez en ese punto.	14° 43' 33,5"N, 90° 59' 17,62"O

Fuente: elaboración propia, con base en coordenadas tomadas de Google Earth.



Figura 2. **Ubicación de puntos de muestreo, municipio de Tecpán, Departamento de Chimaltenango**



Fuente: elaboración propia de puntos de muestreo con base en programa Google Earth.

### **3.3. Muestreo**

Las aguas residuales transportan básicamente excrementos humanos y orina que contribuyen principalmente con materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo y coliformes fecales. En el caso de las aguas residuales del municipio de Tecpán, incluyen aguas del tipo industrial puesto que una actividad económica importante es la tinción de textiles.

Para el estudio, se analizaron los parámetros: temperatura, color, turbiedad, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, nitrógeno, nitratos, fósforo total,

fosfatos, DBO<sub>5</sub>, DQO, OD y coliformes fecales en 4 puntos de muestreo representativos que fueron sugeridos por las Municipalidades de Guatemala y Tecpán dada la accesibilidad al lugar, la pertinencia y representatividad.

Un muestreo es apropiado cuando se asegura la representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio de acuerdo con las normas estándar. Se hicieron 5 análisis con muestras simples, puesto que “son particularmente deseables cuando el flujo de agua residual no es continuo, cuando la descarga de contaminantes es intermitente.”<sup>8</sup> La cantidad de muestras corresponde a un número económica y cronológicamente factible.

Los parámetros a analizar fueron seleccionados en cuanto factibilidad económica y necesidad de conocer los resultados para seleccionar el tratamiento.

#### **3.4. Resultados obtenidos de la caracterización de aguas residuales descargadas al río Xayá por el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango en cuatro puntos de muestreo previamente identificados**

Los valores resultantes obtenidos de la caracterización de aguas residuales descargadas al río Xayá por el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango en cuatro puntos de muestreo previamente identificados, son:

---

<sup>8</sup> Romero, Jairo. *Tratamiento de aguas residuales*, p. 86.

Tabla II. **Punto 1: antes de la primera descarga**

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
Temperatura (°C)	14,9	15,3	14,9	14,4	14,8
Color (UC)	70	73	55	51	43
Turbiedad (UNT)	15,3	13,8	8,9	15,7	12,3
Potencial de hidrógeno	8,6	8,9	7,1	7,4	7,6
Conductividad eléctrica uS/cm	324	388	354	212	255
Sólidos disueltos totales mg/L	173	205	188	113	133
Sólidos suspendidos mg/L	40 000	39 440	34 120	36 009	35 200
Sólidos sedimentables cm <sup>3</sup>	0	0	0	0	0
Nitrógeno total mg/L	4,3	2,4	2,8	5	1,1
Nitratos mg/L	12,5	11	14	10	8,3
Fósforo total mg/L	1,1	1,6	1,3	0,66	0,44
Fosfato mg/L	30,15	17,5	24,95	58,5	38
DBO mg/L	46	17	109	72	55
DQO mg/L	1 820	700	510	101	100
OD mg/L	6,17	6,91	6,52	6,71	6,09
Coliformes fecales NMP/100 mL	1,6x10 <sup>3</sup>	1,6x10 <sup>6</sup>	1,6x10 <sup>6</sup>	1,6x10 <sup>6</sup>	1,6x10 <sup>6</sup>

Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Tabla III. Punto 2: primera descarga

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
Temperatura (°C)	16,2	17,2	15,7	15,6	16
Color (UC)	1 200	1375	675	950	1050
Turbiedad (UNT)	39,8	452,0	167,0	463,0	468,0
Potencial de hidrógeno	8,3	8,9	10,9	9,7	7,1
Conductividad eléctrica uS/cm	1 449	1 215	3 620	1 214	3 330
Sólidos disueltos totales mg/L	769	646	1 918	643	1 771
Sólidos suspendidos mg/L	43 300	41 080	34 120	34 102	50 000
Sólidos sedimentables cm <sup>3</sup>	8,5	10	8	12	16
Nitrógeno total mg/L	1,8	1,9	1,8	2,2	3,6
Nitratos mg/L	73,5	290	580	332,5	262,5
Fósforo total mg/L	9,9	15,9	12,5	10	6,5
Fosfatos mg/L	22	31	23,75	57,25	72,5
DBO mg/L	566	595	557	567	685
DQO mg/L	1 058	1 014	1 116	1 125	1 510
OD mg/L	6,05	6,89	6,78	6,55	6,8
Coliformes fecales NMP/100 mL	1,6x10 <sup>3</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>

Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Tabla IV. Punto 3: segunda descarga

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5
Temperatura (°C)	16,9	16,5	16	16,5	17
Color (UC)	825	1 375	350	625	1 020
Turbiedad (UNT)	248,0	452,0	113,0	173,0	292,0
Potencial de hidrógeno	8,9	8,3	11,5	9,4	8,9
Conductividad eléctrica uS/cm	2 810	1 028	1 951	547	2 410
Sólidos disueltos totales mg/L	194	543	1 033	289	1 283
Sólidos suspendidos mg/L	33 670	34 120	33 100	32 800	32 000
Sólidos sedimentables cm <sup>3</sup>	3,5	7	5	5	6
Nitrógeno total mg/L	3,1	1,2	3,3	2,1	0,5
Nitratos mg/L	90	157,5	140	155	151,5
Fósforo total mg/L	7,2	15,9	9,1	7,6	4,28
Fosfatos mg/L	27,25	20,75	32,75	42,5	46,5
DBO mg/L	260	320	120	379	162
DQO mg/L	576	660	707	530	685
OD mg/L	6,23	6,88	6,88	6,21	6,58
Coliformes fecales NMP/100 mL	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>

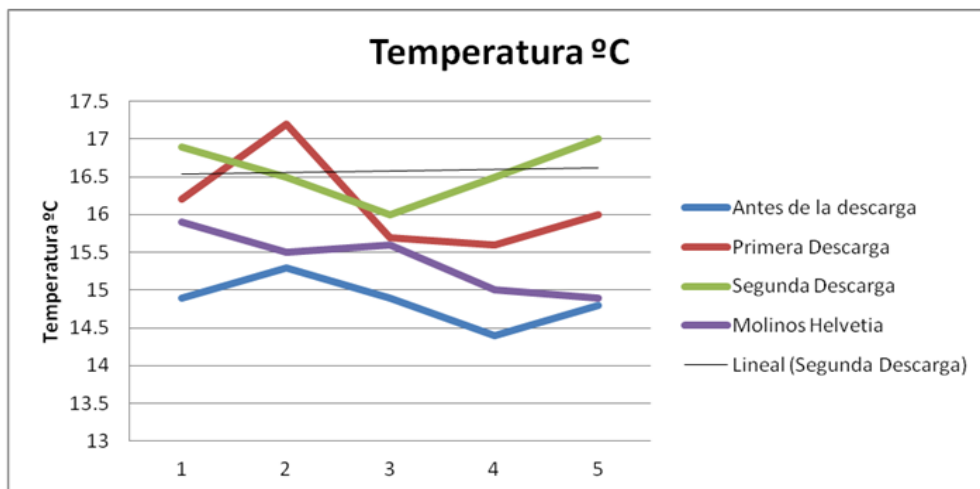
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Tabla V. **Punto 4: molinos Helvetia**

<b>Parámetro</b>	<b>Muestreo 1</b>	<b>Muestreo 2</b>	<b>Muestreo 3</b>	<b>Muestreo 4</b>	<b>Muestreo 5</b>
Temperatura (°C)	15,9	15,5	15,6	15	14,9
Color (UC)	70	62	150	825	175
Turbiedad (UNT)	35,5	41,6	127,0	386,0	509,0
Potencial de hidrógeno	9,0	8,3	8,9	10,9	7,1
Conductividad eléctrica uS/cm	216	210	209	1 873	215
Sólidos disueltos totales mg/L	115	112	111	996	114
Sólidos suspendidos mg/L	3 258	4 080	3 440	3 452	34 880
Sólidos sedimentables cm <sup>3</sup>	0,3	0,7	1	16	2
Nitrógeno total mg/L	3,1	1,6	2,4	2,1	1,4
Nitratos mg/L	3,4	17,8	26,1	28	17
Fósforo total mg/L	0,6	1,2	1,5	5,9	0,58
Fosfatos mg/L	0,75	1,48	2,78	6,25	8,75
DBO mg/L	40	8	12	10	60
DQO mg/L	45	32	95	474	98
OD mg/L	6,24	6,58	6,89	6,1	6,77
Coliformes fecales NMP/100 mL	1,6x10 <sup>6</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>	1,6x10 <sup>9</sup>

Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 3. Resultados de parámetro: temperatura



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

El incremento de la temperatura afecta la vida acuática, además que reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua.

El comportamiento del parámetro físico de la temperatura indica que esta se eleva con las descargas de aguas residuales al río dada la diferencia de 2 °C entre el punto 1 y el punto 4 de muestreo. Por lo tanto, las dos descargas analizadas, incrementan la temperatura del cuerpo receptor en 2 °C aproximadamente. Por efecto de contacto con el aire, aguas abajo (punto 4) vuelve a la temperatura “normal” del cuerpo receptor. Es decir, hay transferencia de calor que permite al río retornar a una temperatura promedio de 14,8 °C que es aceptable y está dentro de los límites permitidos del reglamento nacional. La temperatura promedio de ambas descargas analizadas es de 16 °C, por lo que se constata que hay procesos productivos que descargan las aguas residuales al cuerpo receptor sin tratamiento para normalizar la temperatura.

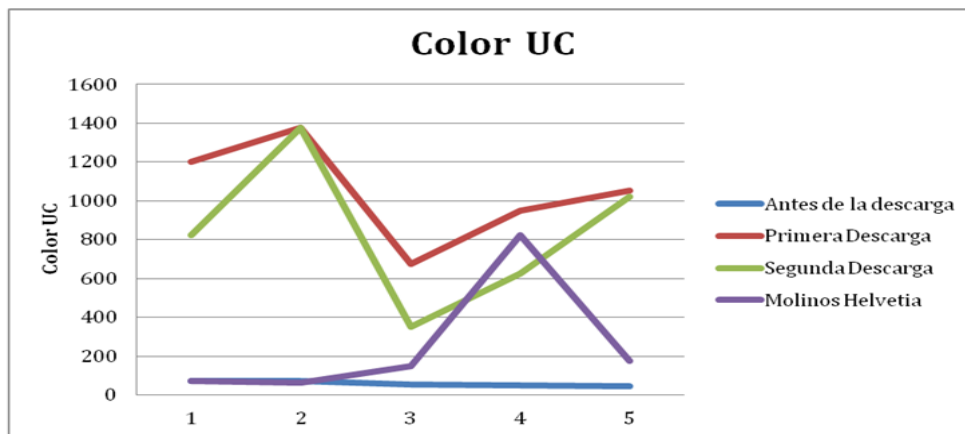
Un cambio brusco de la temperatura, puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática.

Tabla VI. **Análisis estadístico de las mediciones de temperatura en grados Celsius**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	14,9	14,4	15,3	14,9	0,3	1,7
Primera descarga	16,1	15,6	17,2	16	0,6	2,4
Segunda descarga	16,6	16	17	16,5	0,4	-0,1
Molinos Helvetia	15,4	14,9	15,9	15,5	0,4	-2,0

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 4. **Resultados de parámetro: color**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.



El color hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público. Según el comportamiento observado, los resultados para el punto 1 se mantienen constantes y bajo el límite mínimo permisible. Ambas descargas analizadas presentan resultados por encima del límite máximo permisible del reglamento nacional, siendo el punto 2 o la primera descarga, el lugar muestreado más crítico puesto que tiene un promedio de 1 050 UC, 50 UC mayor que el límite establecido. El parámetro se restablece aguas abajo, en el punto 4 alcanzando valores permitidos.

El color detectado en las descargas es proveniente de actividades que utilicen dentro de sus procesos la adición de productos químicos (como el tolueno según Metcalf & Eddy, 1996) o biológicos que alteran la coloración del agua. Si se considera que una de las actividades productivas del municipio de Tecpán es la tinción de textiles a nivel industrial y a pequeña escala, el valor parámetro está asociado a lo anterior.

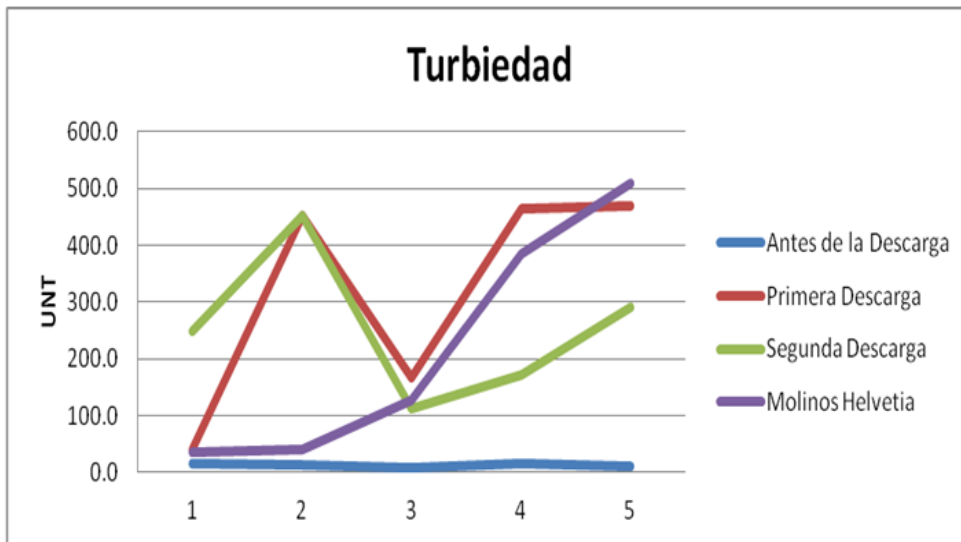
De acuerdo a los muestreos realizados, el tercero presentó disminución en el color en el punto 2 y punto 3. En el punto 4 se obtienen valores permitidos por el reglamento nacional. En el recorrido del cuerpo de agua, el color disminuye.

Tabla VII. **Análisis estadístico de las mediciones del color en unidades de color**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	58,4	43	73	55	12,7	-2,2
Primera descarga	1 050,0	675	1 375	1 050	264,0	0,1
Segunda descarga	839,0	350	1 375	825	389,0	-0,2
Molinos Helvetia	256,4	62	825	150	321,6	4,5

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 5. **Resultados de parámetro: turbiedad**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

De acuerdo a los resultados, la turbiedad es un parámetro que es afectado por las dos descargas porque el punto 1 tiene un promedio de 13,2 UNT y aumenta 3,8 veces en la primera descarga (o punto 2) y no se regenera en el punto 4, sino sigue siendo 1,6 veces mayor que en el punto 1.

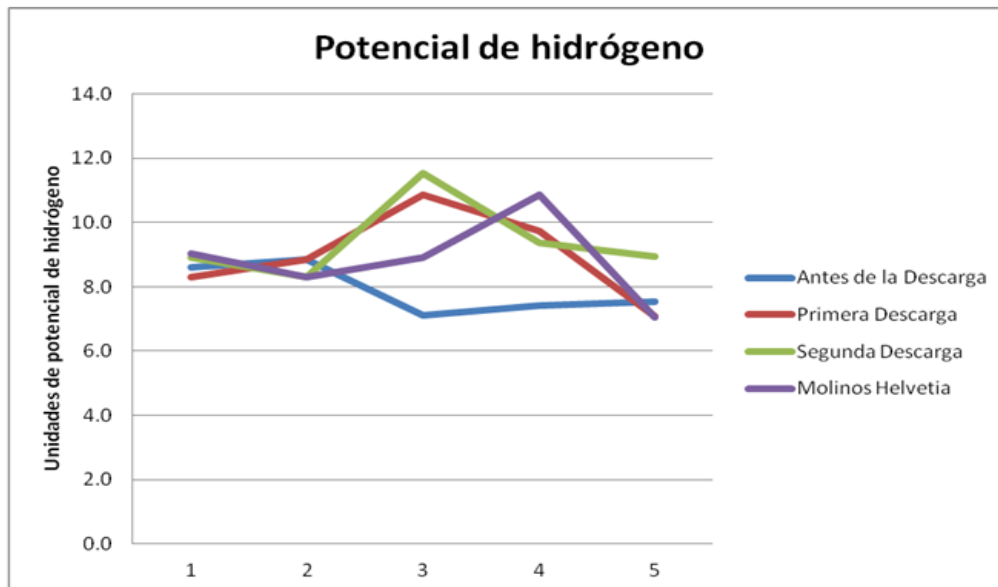
Entre el punto 2 y el punto 3, que se refiere a las dos descargas estudiadas, tienen un comportamiento similar en este parámetro. Durante el muestreo No. 3, los valores para el punto 1 y el punto 3 disminuyeron.

Tabla VIII. **Análisis estadístico de las mediciones de turbiedad en UNT**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	13,2	8,86	15,7	13,8	2,8	0,8
Primera descarga	318,0	39,8	468	452	201,08	-2,0
Segunda descarga	255,6	113	452	248	129,58	0,6
Molinos Helvetia	219,8	35,5	509	127	215,48	-2,2

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 6. Resultados de parámetro: potencial de hidrógeno



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Valores fuera del rango permitido representan un riesgo potencial para organismos acuáticos.

De acuerdo al reglamento nacional, que limita al parámetro de 6 a 9 unidades de potencial de hidrógeno, únicamente el punto 1 lo cumple. En el punto 2 y en el punto 3, el parámetro aumenta a 7 a 9 y de 7 a 9,4 respectivamente. Existen valores que sobrepasan el límite, siendo el máximo el valor de 11,5 ubicado en el tercer muestreo del punto 2. El punto 3 es el que presenta un pH promedio superior al reglamentado.

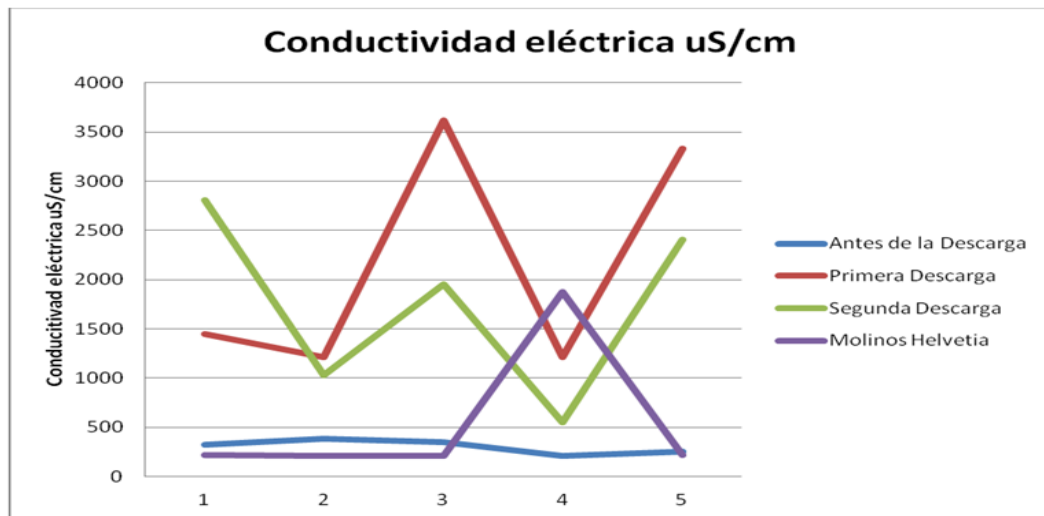
El agua residual con concentraciones de ión hidrógeno inadecuadas pueden presentar dificultades de tratamiento en proceso biológico.

Tabla IX. **Análisis estadístico de las mediciones del potencial de hidrógeno**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	7,9	7,1	8,85	7,55	0,8	-2,6
Primera descarga	9,0	7,07	10,86	8,85	1,4	-0,2
Segunda descarga	9,4	8,3	11,53	8,93	1,2	3,3
Molinos Helvetia	8,8	7,05	10,86	8,9	1,4	1,3

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 7. **Resultados de parámetro: conductividad eléctrica**



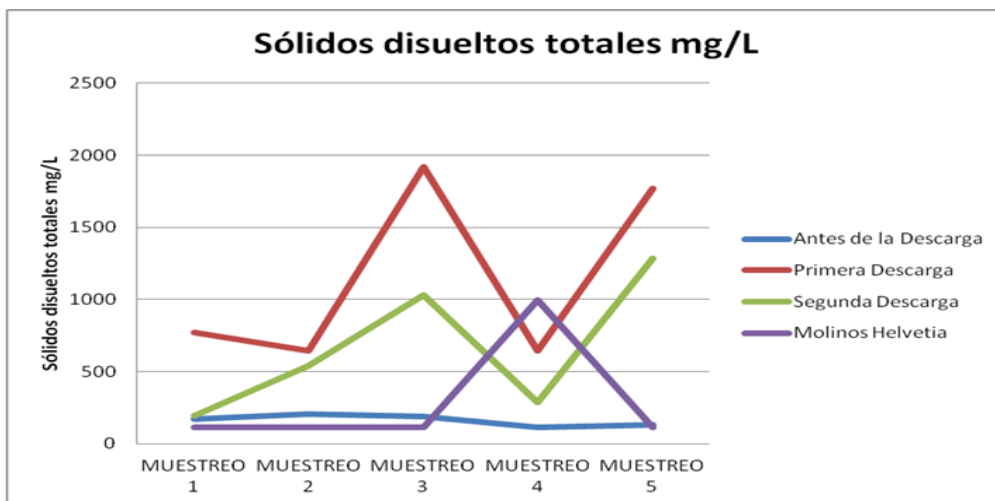
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Tabla X. **Análisis estadístico de las mediciones de la conductividad eléctrica**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	306,6	212	388	324	72,1	-1,7
Primera descarga	2 165,6	1 214	3 620	1 449	1 203,5	-3,1
Segunda descarga	1 749,2	547	2 810	1 951	944,5	-2,0
Molinos Helvetia	544,6	209	1 873	215	742,6	5,0

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 8. **Resultados de parámetro: sólidos disueltos totales**



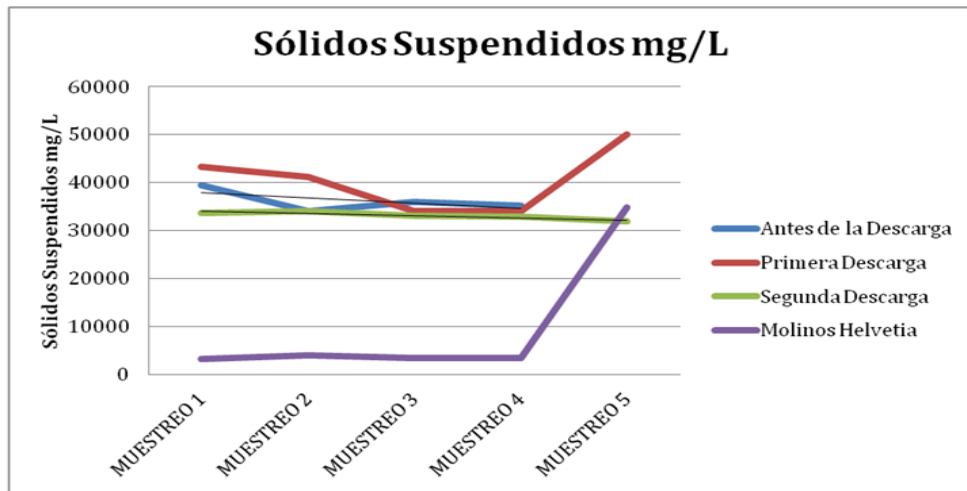
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Tabla XI. **Análisis estadístico de las mediciones de sólidos disueltos totales**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	162,4	113	205	173	38,4	-1,9
Primera descarga	1 149,4	643	1 918	769	638,7	-3,1
Segunda descarga	668,4	194	1 283	543	473,1	-2,2
Molinos Helvetia	289,6	111	996	114	394,9	5,0

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 9. **Resultados de parámetro: sólidos suspendidos**



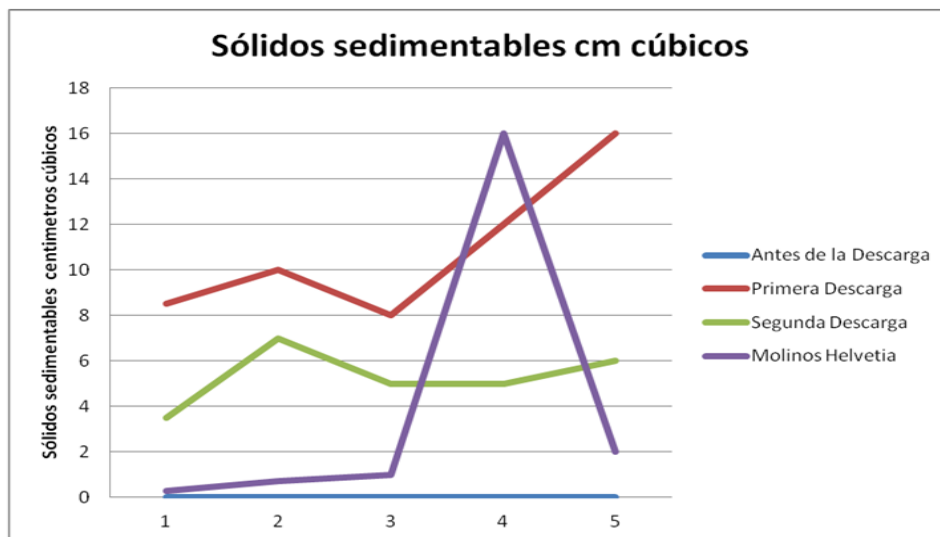
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Tabla XII. **Análisis estadístico de las mediciones de sólidos suspendidos**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	15 524,8	360	35 200	4 000	17 534,3	-3,3
Primera descarga	16 332,0	4 108	34 120	5 000	16 233,2	-3,3
Segunda descarga	33 138,0	32 000	34 120	33 100	815,2	-0,35
Molinos Helvetia	28 092,0	4 080	34 880	34 400	13 452,7	4,9

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 10. **Resultados de parámetro: sólidos sedimentables**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.



Los sólidos disueltos deberían ser teóricamente 0,5 veces la conductividad eléctrica. En los resultados obtenidos se evidencia este comportamiento, únicamente varía en 5,89 %. De acuerdo a los resultados, las descargas de aguas residuales aumentaron la conductividad que puede ser debido al aumento de la concentración de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , u otros iones; restableciéndose los valores aguas abajo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las dos descargas, punto 2 y punto 3 no tienen importante impacto en cuanto a los sólidos suspendidos. De estos dos puntos el No. 2 es el más representativo. Aguas abajo, en el punto 4, los valores son menores aún que el punto 1. El muestreo No. 5 es coincidente en el aumento de valor en el punto 2 y el punto 4 por lo que se confirma la relación entre estos dos puntos para los sólidos suspendidos.

Cada descarga analizada tiene impacto en los sólidos sedimentables, puesto que en el punto 1 es promedio de  $0 \text{ cm}^3$ , aumentando en  $10,3$  y  $5,3 \text{ cm}^3$  y para el punto 2 (primera descarga) y el punto 3 (molinos Helvetia) respectivamente. Sin embargo, aguas abajo, en el punto 4 definido como molinos Helvetia, no hay restablecimiento total de este parámetro, sino una disminución promedio del 50 % únicamente.

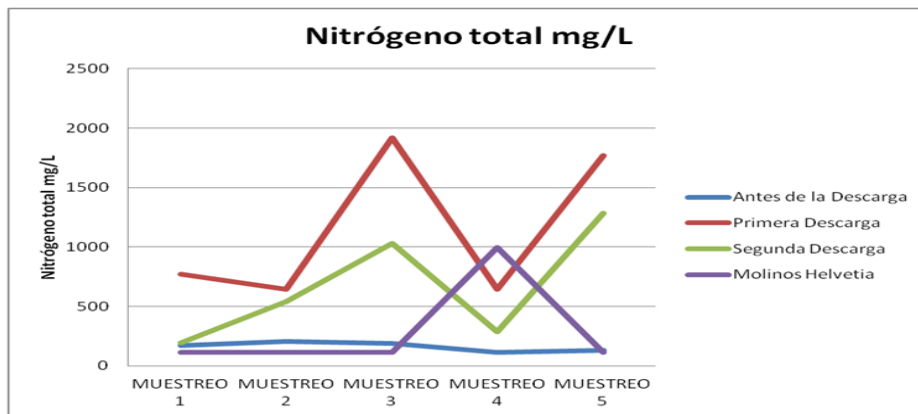
Los anteriores parámetros pueden conducir al desarrollo de depósitos de lodos y condiciones anaerobias. Además causa turbiedad en el agua.

Tabla XIII. **Análisis estadístico de las mediciones de sólidos sedimentables**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Primera descarga	10,9	8	16	10	3,2	0,8
Segunda descarga	5,3	3,5	7	5	1,3	0,3
Molinos Helvetia	4,0	0,3	16	1	6,7	4,8

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 11. **Resultados de parámetro: nitrógeno total**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

El nitrógeno es esencial para el crecimiento y cuando es vertido a cuerpos receptores, puede favorecer el crecimiento de vida acuática no deseada y produce contaminación en el agua subterránea.

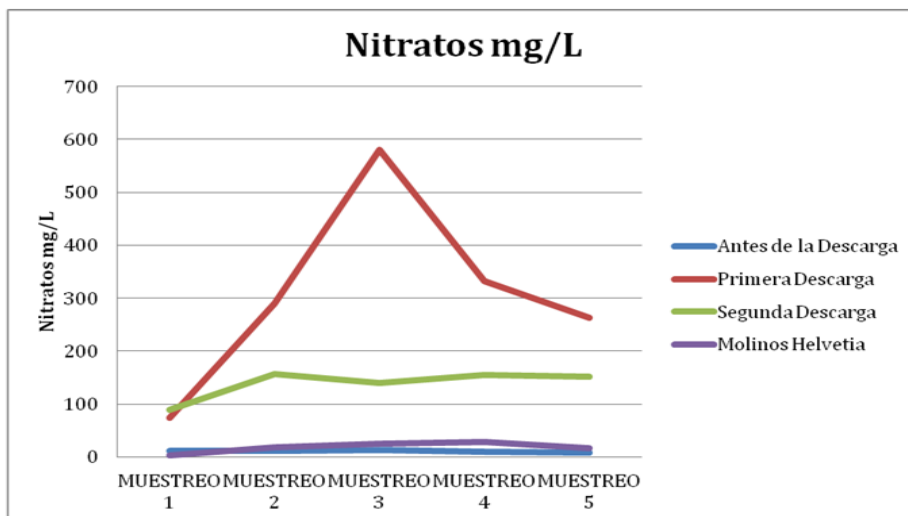
Los análisis realizados muestran que no hay significancia en este parámetro, puesto que el límite máximo establecido es de 150 mg/L y el máximo observado es de 3,6 mg/L. El muestreo 3 fue el de mayor impacto en el punto 2 y en el punto 3, que se refiere a los dos puntos de descarga analizados. Aunque no supera el máximo sí implica un aumento en las dos descargas; siendo el más representativo el punto 2 (primera descarga). Los valores promedio se restablecen aguas abajo.

Tabla XIV. **Análisis estadístico de las mediciones del nitrógeno total**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	3,1	1,1	5,0	2,8	1,5	-1,2
Primera descarga	2,3	1,8	3,6	1,9	0,8	4,0
Segunda descarga	2,0	0,5	3,3	2,1	1,2	-2,1
Molinos Helvetia	2,1	1,4	3,1	2,1	0,7	-0,4

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 12. Resultados de parámetro: nitratos



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Si se considera el valor máximo permitido de 45 mg/L definido por EPA según Metcalf y Eddy, 1996; las dos descargas, el punto 2 y el punto 3, están por encima de dicho valor, siendo la más representativa y crítica la primera descarga. Tienen impacto ambas descargas puesto que aguas arriba (punto 1) y aguas abajo (punto 4) de las descargas, los valores son en promedio 10,2 mg/L.

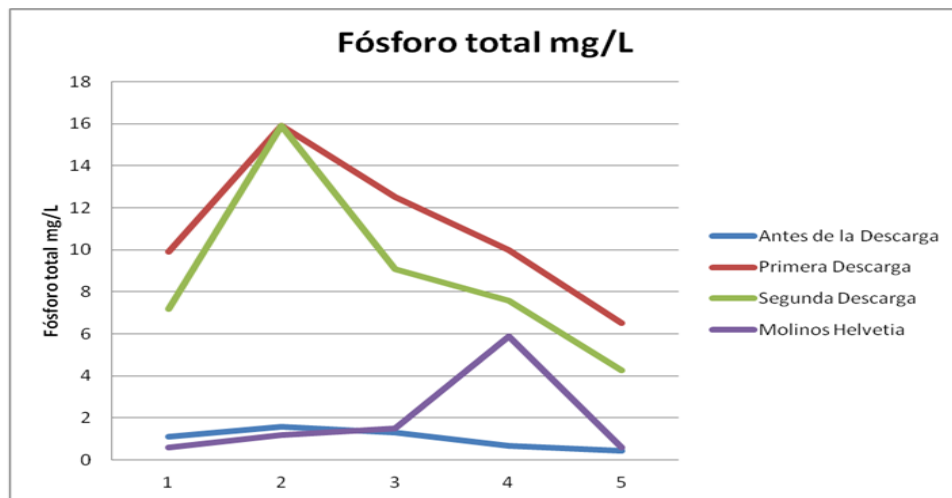
Los nitratos son la forma más oxidada del N y los efectos sobre la salud, principalmente de niños, son graves y ocasionalmente fatales.

Tabla XV. **Análisis estadístico de las mediciones de nitratos**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	11,2	8,3	14	11	2,2	-0,7
Primera descarga	307,7	73,5	580	290	181,6	1,8
Segunda descarga	138,8	90	157,5	151,5	28,1	3,8
Molinos Helvetia	18,5	3,4	28	17,8	9,7	0,8

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 13. **Resultados de parámetro: fósforo total**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

El fósforo total es un nutriente y puede producir crecimiento de vida acuática indeseable, similar función que el N antes mencionado. También ocasiona contaminación sobre agua subterránea, disminuyendo el potencial como agua potable. Puede estimular el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. "...las aguas residuales municipales, cuyo contenido en fósforo como P total puede variar entre 4 y 15 mg/L."<sup>9</sup> Las dos descargas analizadas están dentro de este rango siendo la primera descarga en promedio la más crítica. El impacto por las descargas se evidencia puesto que en el punto 1 es en promedio 1 mg/L y aumenta hasta 11 y 8,8 mg/L en los puntos 2 y 3, respectivamente. Aguas abajo, en el punto 4, se restablece.

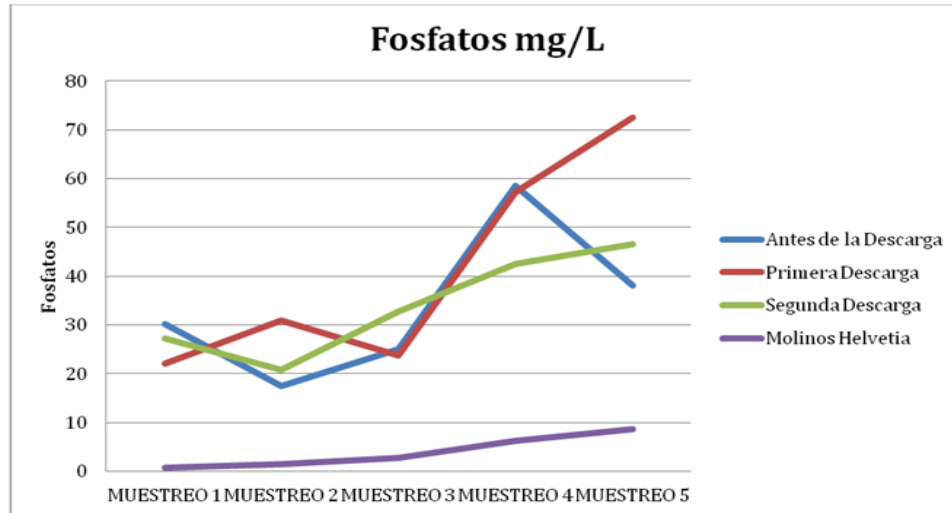
Tabla XVI. **Análisis estadístico de las mediciones de fósforo total**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	1,0	0,44	1,6	1,1	0,5	-1,6
Primera descarga	11,0	6,5	15,9	10	3,5	0,4
Segunda descarga	8,8	4,28	15,9	7,6	4,3	2,5
Molinos Helvetia	2,0	0,58	5,9	1,2	2,2	4,4

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

<sup>9</sup>Metcalfe y Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*, p. 99.

Figura 14. Resultados de parámetro: fosfatos



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

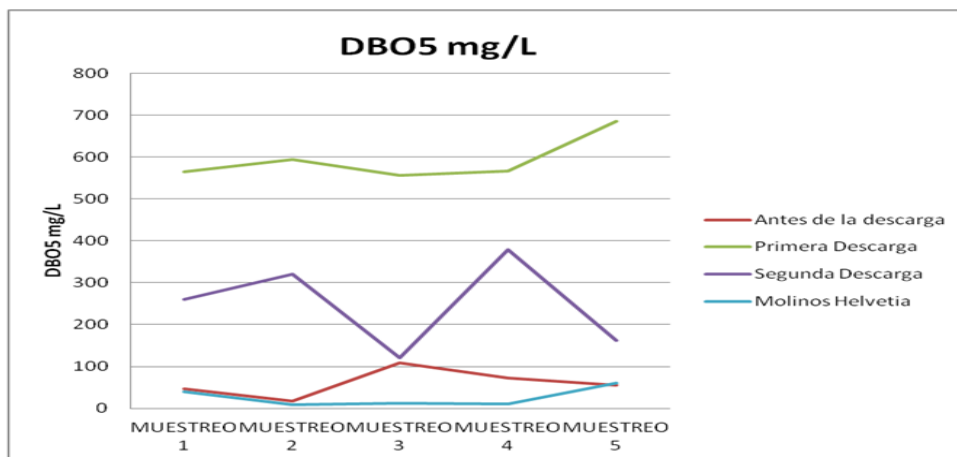
Las formas más frecuentes en las que se presenta el P en soluciones acuosas incluyen el ortofosfato, polifosfato y fosfatos orgánicos. De acuerdo a los resultados es un parámetro en el que no tiene incidencia importante las descargas puesto que en el punto 1, antes de la descarga, presenta un comportamiento similar a los puntos 2 y 3. En el transcurso del río los valores disminuyen hasta un promedio de 4 mg/L, valor menor inclusive antes de la primera descarga.

Tabla XVII. **Análisis estadístico de las mediciones de fosfatos**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MEDIANA	DESVIACION ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	33,8	17,5	58,5	30,1	15,7	1,2
Primera descarga	41,3	22	72,5	31	22,4	-1,8
Segunda descarga	34,0	20,7	46,5	32,7	10,6	-1,8
Molinos Helvetia	4,0	0,7	8,7	2,7	3,4	-1,5

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 15. **Resultados de parámetro: demanda bioquímica de oxígeno**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Uno de los valores críticos observados es la  $DBO_5$  que en las dos descargas analizadas supera el límite máximo permisible para este parámetro en 274 y 152 % para el punto 2 y el punto 3 respectivamente. Es un parámetro



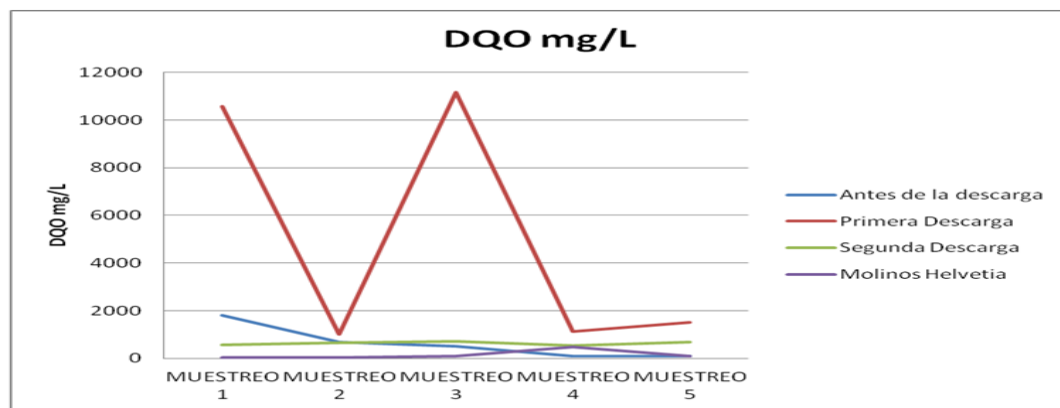
crítico en el que se evidencia el impacto de las descargas sobre el río. La descarga con mayor incidencia es la segunda, punto 3. Los valores fuera de rango, produce desoxigenación del agua, genera olores indeseables. Aguas abajo, punto 4, presenta valores menores que inclusive en el punto 1.

Tabla XVIII. **Análisis estadístico de las mediciones de DBO<sub>5</sub>**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	59,8	17	109	55	33,9	0,77
Primera descarga	594	557	685	567	52,8	3,5
Segunda descarga	248,2	120	379	260	107,5	-1,9
Molinos Helvetia	26	8	60	12	23,1	-1.0

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 16. **Resultados de parámetro: demanda química de oxígeno**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Este parámetro es importante porque permite conocer los compuestos tóxicos que afectan la vida biológica. Los valores se comportan como sugiere la teoría, pues es mayor que la DBO, debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica.

De acuerdo a los resultados, las dos descargas aumentan el valor de la DQO, siendo la más crítica la del punto 2. Ambas tienen un comportamiento similar.

Según el Artículo 18 del Reglamento 23-2006 se deberá establecer la relación entre la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno.

Los resultados de dicha relación se muestran en las siguientes tablas, donde se calculó la biodegradabilidad de cada punto de muestreo. Luego, se muestra en porcentaje para cada punteo de muestreo, si es poco o muy biodegradable.

Se observa que el 60 % de las muestras tomadas de las dos descargas en estudio son “muy biodegradables”, lo que permite considerar el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Tabla XIX. **Análisis estadístico de las mediciones de DQO**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	646,2	100	1 820	510	706,1	2,4
Primera descarga	5 077,8	1 014	11 160	1 510	5 29,7	-3,3
Segunda descarga	631,6	530	707	660	75,4	-1,9
Molinos Helvetia	148,8	32	474	95	184,1	4,5

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Tabla XX. **Relación DBO<sub>5</sub>/DQO**

	Punto de Muestreo	Poco biodegradable	Muy Biodegradable
1	Antes de la descarga	60,00 %	40,00 %
2	Primera Descarga	40,00 %	60,00 %
3	Segunda Descarga	40,00 %	60,00 %
4	Molinos Helvetia	60,00 %	40,00 %

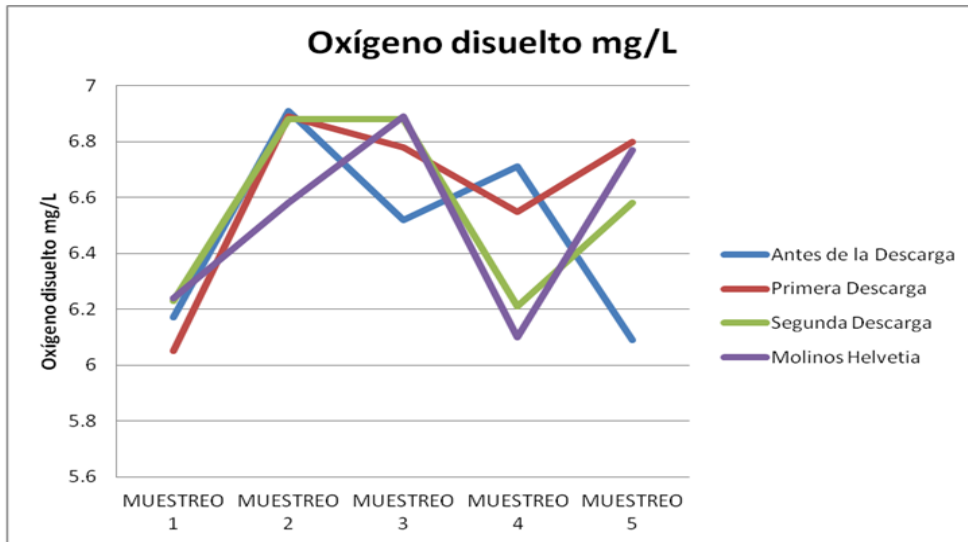
Fuente: Gráfica 15 y 16.

Tabla XXI. **Biodegradabilidad**

Punto de Muestreo	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5
Antes de la descarga	0,0	0,0	0,2	0,7	0,6
Primera Descarga	0,1	0,6	0,0	0,5	0,5
Segunda Descarga	0,5	0,5	0,2	0,7	0,2
Molinos Helvetia	0,9	0,3	0,1	0,0	0,6

Fuente: tabla No. XX.

Figura 17. **Resultados de parámetro: oxígeno disuelto**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Este parámetro es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida. Evita la formación de olores desagradables por lo que es necesario cantidades suficientes de OD.

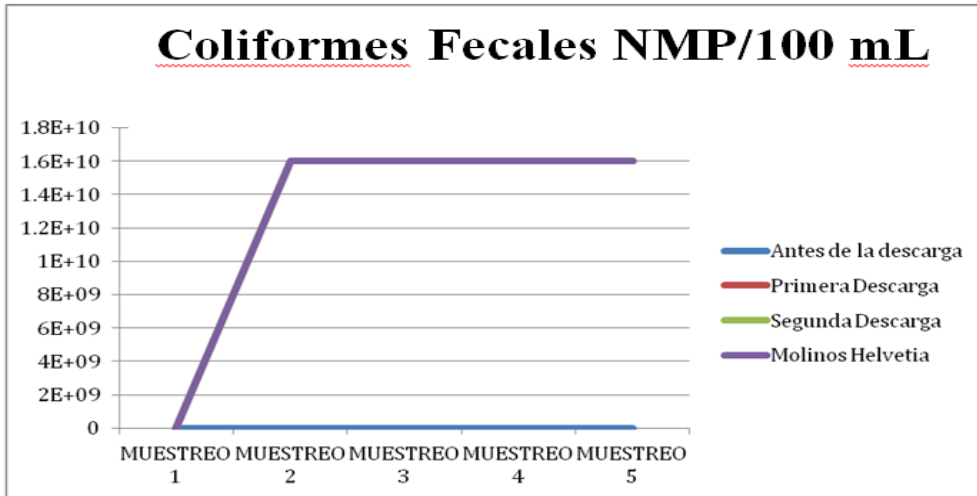
El valor promedio para todos los muestreos y todos los puntos de muestreo es de 6,50 mg/L. Por lo que las descargas no tienen incidencia importante en este parámetro.

**Tabla XXII. Análisis estadístico de las mediciones de OD**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	6,5	6,09	6,91	6,52	0,3	-2,1
Primera descarga	6,6	6,05	6,89	6,78	0,3	2,3
Segunda descarga	6,6	6,21	6,88	6,58	0,3	-2,9
Molinos Helvetia	6,5	6,1	6,89	6,58	0,3	-2,3

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Figura 18. Resultados de parámetro: coliformes fecales



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

En la gráfica anterior, no se muestran los resultados para la primera y segunda descarga, punto 2 y 3 respectivamente, puesto que presentan la tendencia idéntica a la del punto 4 (molinos Helvetia). Las coliformes aparecen en mayor cantidad a partir de la primera descarga. Este parámetro es importante puesto que la existencia de coliformes producen enfermedad y hacen el agua insegura para consumo y recreación. De acuerdo a la clasificación de Romero (2002), el agua con este nivel de resultados, se considera agua contaminada que requiere tratamiento especial.

Tabla XXIII. **Análisis estadístico de las mediciones de coliformes fecales**

PUNTO DE MUESTREO	PROMEDIO	MINIMO	MAXIMO	MODA	MEDIANA	DESVIACION ESTÁNDAR	CURTOSIS
Antes de la descarga	1,28x10 <sup>7</sup>	16 000	1,6x10 <sup>7</sup>	1,6x10 <sup>7</sup>	1,6x10 <sup>7</sup>	7,14x10 <sup>8</sup>	5
Primera descarga	1,28x10 <sup>10</sup>	16 000	1,6x10 <sup>10</sup>	1,6x10 <sup>10</sup>	1,6x10 <sup>10</sup>	715 x10 <sup>9</sup>	5
Segunda descarga	1,28x10 <sup>10</sup>	1 600 000	1,6x10 <sup>10</sup>	1,6x10 <sup>10</sup>	1,6x10 <sup>10</sup>	715 x10 <sup>9</sup>	5
Molinos Helvetia	1,28x10 <sup>10</sup>	1 600 000	1,6x10 <sup>10</sup>	1,6x10 <sup>10</sup>	1,6x10 <sup>10</sup>	715 x10 <sup>9</sup>	5

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

Tabla XXIV. **Valores permitidos para aguas residuales de origen textil**

Parámetros	Valores AI-Kdasi	Valores Punto 2 o Primera Descarga	Valores del Punto 3 o Segunda Descarga
pH	7,0-9,0	9,00	9,40
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	80-6 000	16,10	16,20
Demanda química de oxígeno (mg/L)	150-12 000	1 164,60	278,40
Sólido suspendidos totales (mg/L)	15-8 000	16 332,00	33 138,00
Sólidos disueltos (mg/L)	2 900-3 100	1 149,40	668,40
Nitrógeno total (mg/L)	70-80	2,30	2,00
Color (Pt-Co)	50-2 500	1 050,00	839,00

Fuente: AI-Kdasi, 2006 y elaboración propia.

Al realizar la comparación de los punto 2 y 3 con valores permitidos propuestos por AI-Kdasi para los valores aceptados de aguas residuales de origen textil en la tabla anterior, se observa que los parámetros que están entro de los límites son el potencial de hidrógeno, DQO, sólidos disueltos y el color.

Presentan similar comportamiento las dos descargas analizadas con la diferencia que el potencial de hidrógeno únicamente la segunda descarga excede los valores.

Es importante destacar que la propuesta por Al-Kdasi se basa en que las aguas residuales tendrán un tratamiento avanzado posterior de oxidación.

### **3.5. Análisis de resultados en comparación con el AG 236-2006**

Aunque el olor no fue un parámetro medido durante la recolección de muestras, se percibió un olor desagradable, irritante, persistente, fétido, como a desagüe y en los puntos de descarga, punto 2 y punto 3. Este molesto olor pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua potable, producir desequilibrios respiratorios, náuseas, vómitos, deterioro de la dignidad personal y comunitaria, desanimar las inversiones de capital, descender el nivel socioeconómico, descenso de rentas y mercado de propiedades. Un factor importante con un impacto social y de salubridad significativo.

Otro parámetro que aunque no fue medido, pero sí fue observado, es la formación de espuma en los puntos de descarga estudiados: punto 2 y punto 3, que son producto de agentes tensoactivos, proveniente aguas grises sin tratamiento producidas principalmente por un lavadero municipal cercano.

Un análisis integral de los resultados de la medición de temperatura, color, pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, N, NO<sub>3</sub>, P, PO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, DBO<sub>5</sub>, DQO, OD, coliformes fecales; permite determinar que los parámetros que exceden los límites permisibles por el Reglamento 236-2006 en mayor magnitud son: turbiedad, sólidos



suspendidos, DBO<sub>5</sub> coliformes fecales y en menor magnitud el potencial de hidrógeno y el color.

El punto 2 o primera descarga presentó las condiciones más críticas, únicamente exceptuando el valor promedio de DBO<sub>5</sub> que es mayor en la segunda descarga.

En general, en el punto 4 o molinos Helvetia se restablecen los parámetros probablemente donde por medio de fenómenos físicos, químicos y biológicos, que tienen lugar en el curso del agua de modo natural, provocan la destrucción de materias extrañas incorporadas a un río. Principalmente son las bacterias aerobias, que consumen materia orgánica con ayuda del oxígeno disuelto en el agua.

El área posterior a las descargas analizada, se pudieran describir como zona de degradación próxima al vertido donde desaparecen las formas de vida más delicadas y aparecen otras más resistentes. El aspecto del agua es sucio ya que disminuye el contenido en oxígeno y aumenta la DQO. Por lo que comienza la degradación por parte de la flora microbiana.

Los puntos 2 y 3 pueden definirse como zona de descomposición activa porque aparecen aguas sucias, ennegrecidas, con espumas y maloliente, ya que existe una descomposición anaerobia que provoca un desprendimiento de gases.

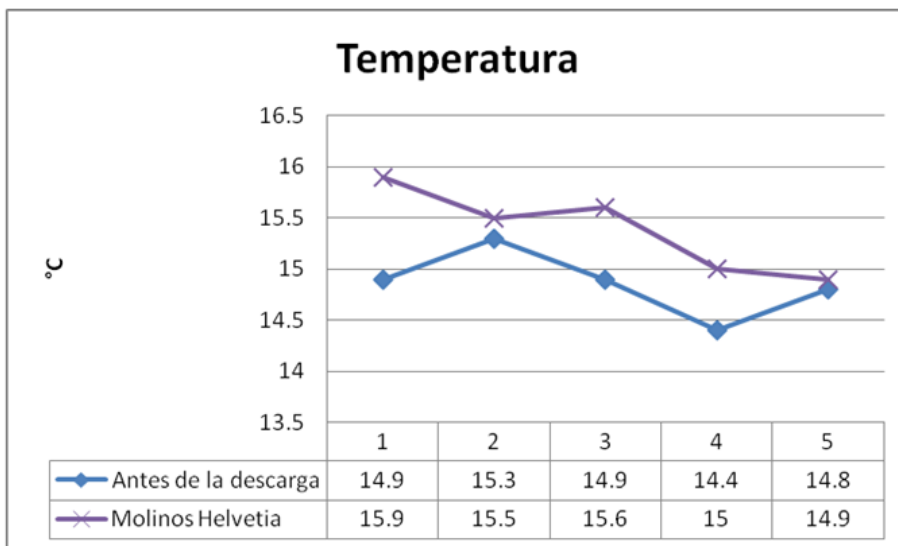
En promedio el punto 4 puede definirse como la zona de recuperación ya que el agua se clarifica. Todo ello debido a la presencia de oxígeno disuelto o procedente de la actividad fotosintética de los vegetales, que ayuda a degradar los compuestos contaminantes. El colorante utilizado para la industria textil en

el área podría ser de tipo biodegradable, el cual después de un tratamiento de tipo orgánico, puede ser removido casi en su totalidad.

### 3.6. Comparación entre el punto 1 y el punto 4

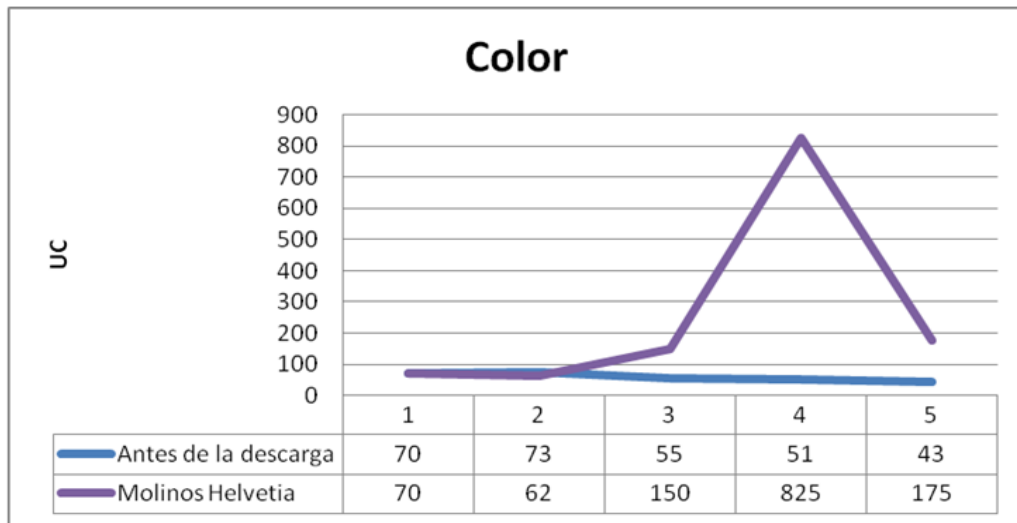
Con el objetivo de verificar el impacto de las descargas en el curso del cuerpo de agua, se comparan a continuación antes y después de las mismas. La comparación gráfica de cada parámetro aparece a continuación:

Figura 19. **Comparación de temperatura entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



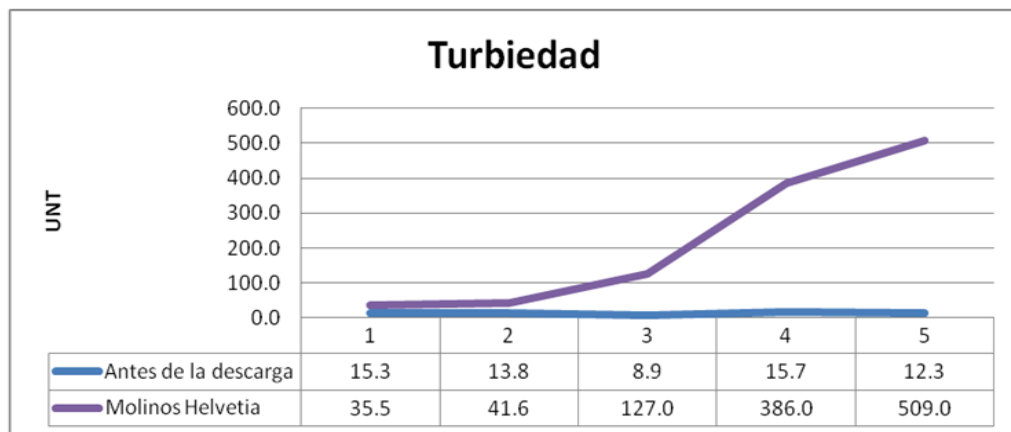
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 20. **Comparación de color entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



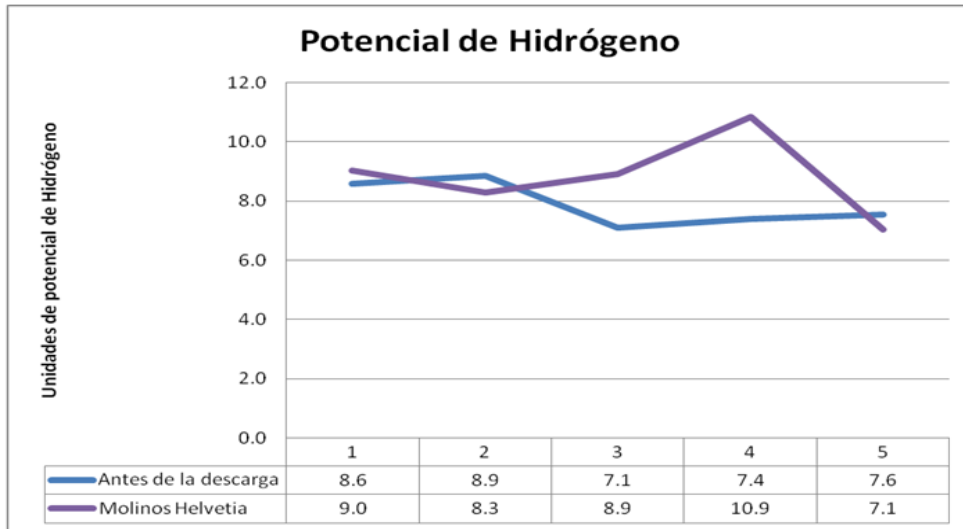
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 21. **Comparación de turbiedad entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



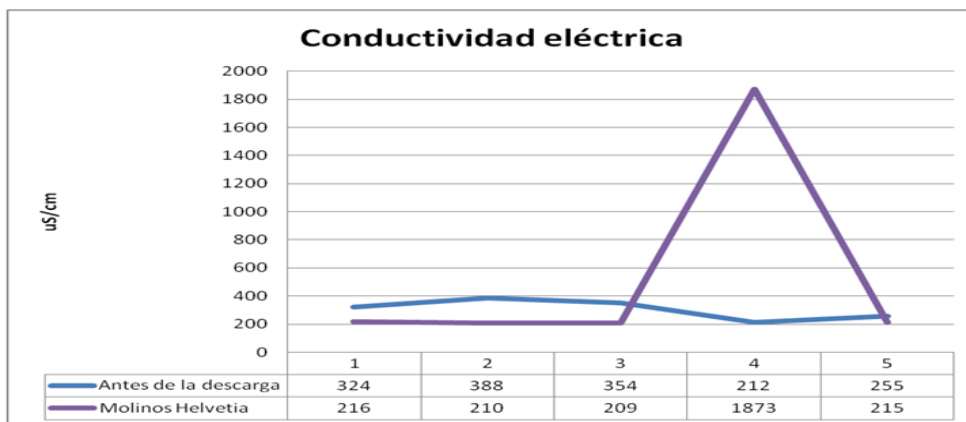
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 22. **Comparación del potencial de hidrógeno entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



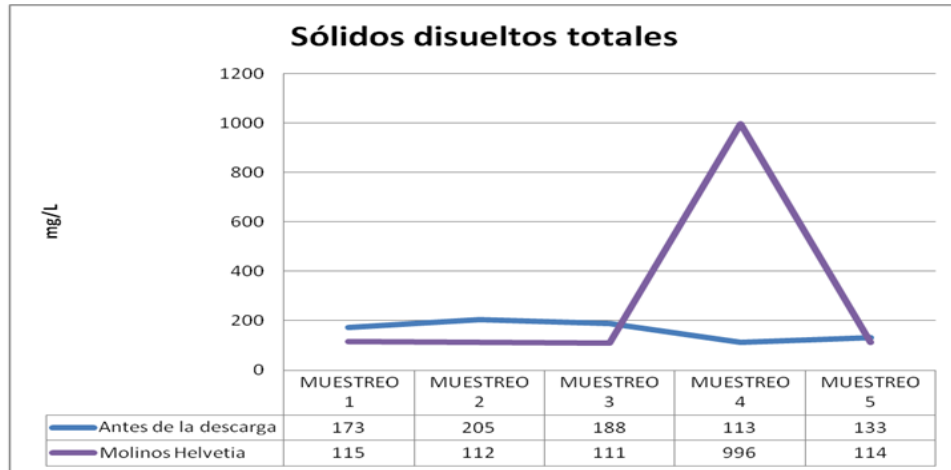
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 23. **Comparación de la conductividad eléctrica entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



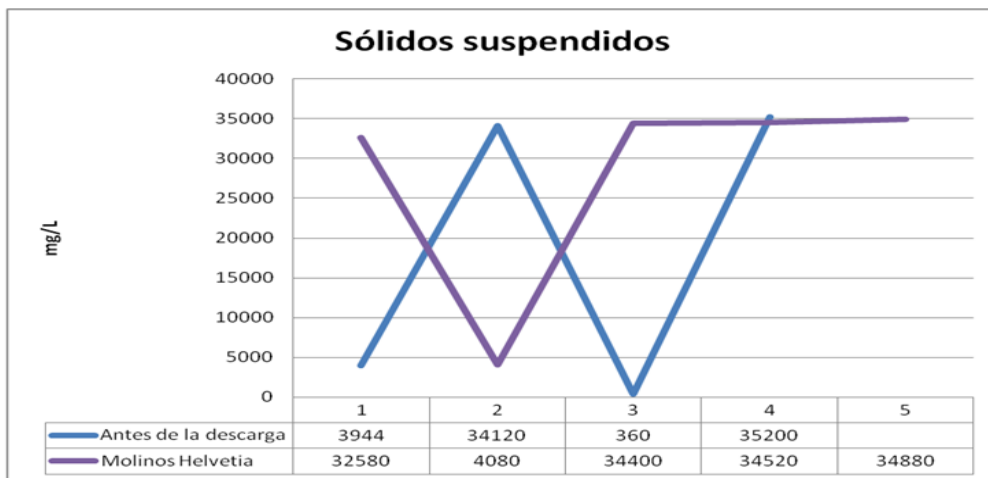
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 24. **Comparación de sólidos disueltos totales entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



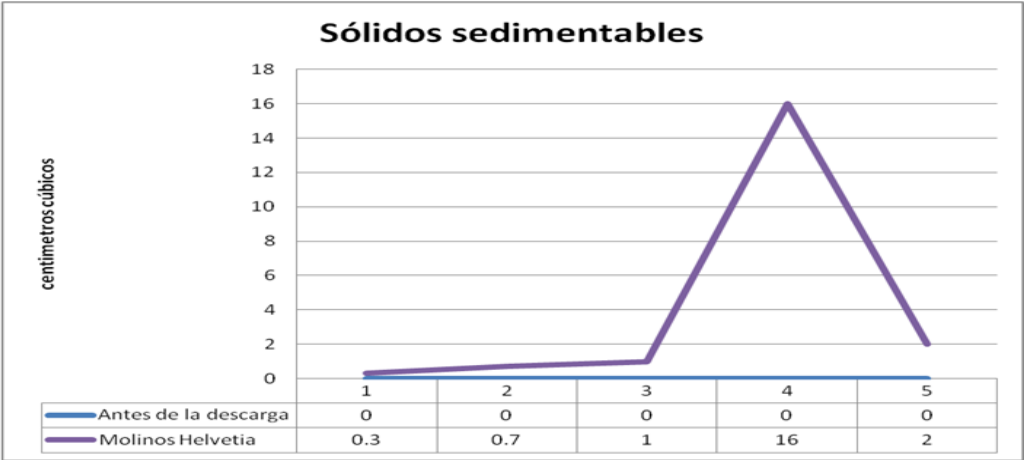
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 25. **Comparación de sólidos suspendidos entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



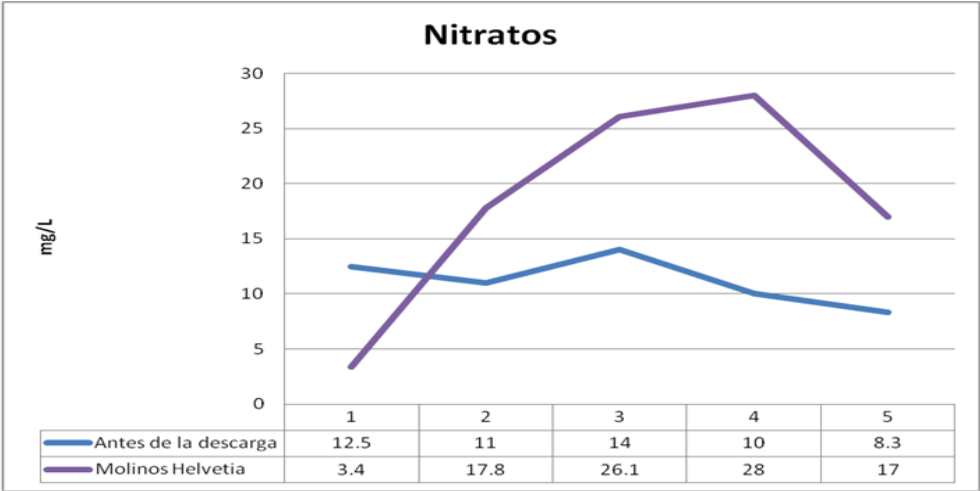
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 26. **Comparación de sólidos sedimentables entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



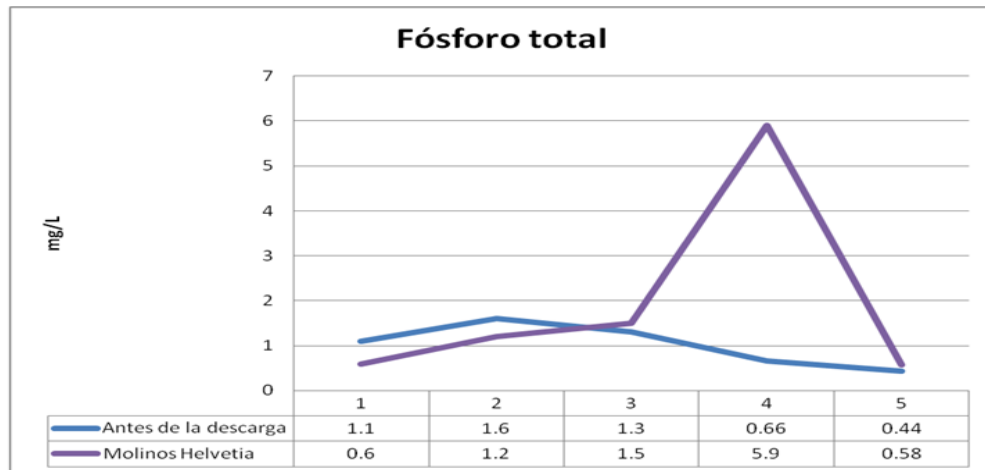
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 27. **Comparación de nitratos entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



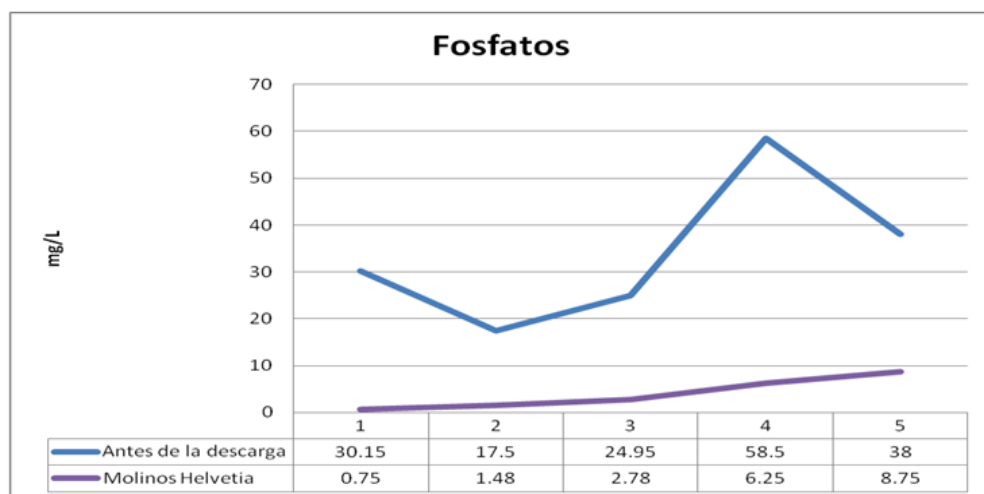
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 28. **Comparación de fósforo total entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



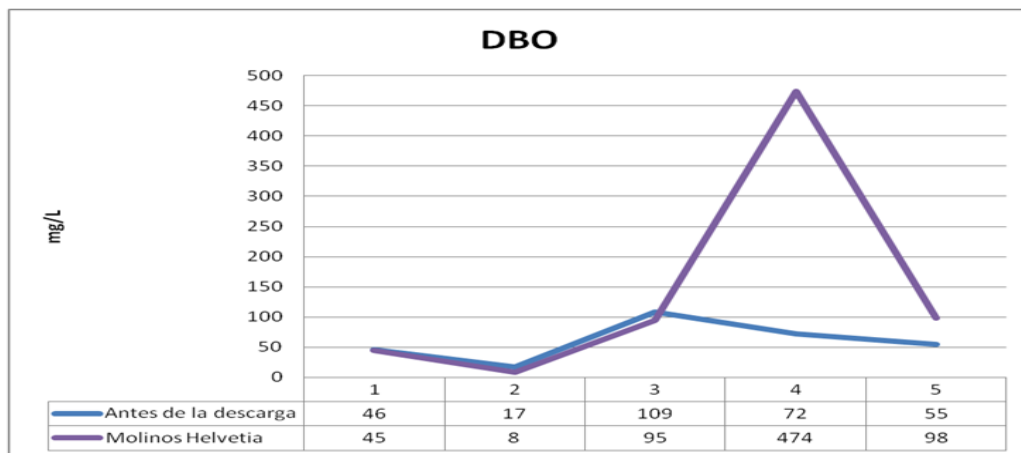
Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 29. **Comparación de fosfatos entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 30. **Comparación de DBO<sub>5</sub> entre punto 1 (antes de la descarga) y punto 4 (molinos Helvetia)**



Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

En promedio, los valores que aumentaron son: color, turbiedad, potencial de hidrógeno, sólidos sedimentables y nitratos. Los resultados promedio que tuvieron comportamiento similar son: la conductividad eléctrica, sólidos suspendidos, fósforo y DBO<sub>5</sub>. Los valores con promedio que descendieron son: sólidos disueltos totales y fosfatos.

### 3.6.1. Carga contaminante

“Carga es el resultado de multiplicar el caudal por la concentración determinados en un efluente y expresada en kilogramos por día”<sup>10</sup>. El río Xayá, como cualquier fuente receptora, tiene una capacidad de asimilación de un contaminante, y al excederla pierde las condiciones exigidas y se convierte

<sup>10</sup> Guatemala. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. *Diario de Centroamérica*. 5 de mayo de 2006, Capítulo II, Artículo 4.



en contaminado de acuerdo a Romero, 2008. El caudal del río en estudio es 36 288,00 L/día según López, 2006. La medición de los caudales en cada punto se realizó por el método volumétrico y a continuación se presentan los valores promedio del caudal, DBO<sub>5</sub> kg/L y la carga contaminante en kg/día.

Tabla XXV. **Cálculo de carga contaminante**

Punto de Muestreo	Caudal promedio L/día	DBO <sub>5</sub> (kg/L)	Carga Contaminante (kg/día)
1 o antes de la descarga	31 924,800	0,0598	1 909,100
2 o primera descarga	2 808,000	0,594	1 667,950
3 o segunda descarga	1 555,200	0,2482	386,000
4 o molinos Helvetia	35 280,000	0,026	917,280

Fuente: elaboración propia en base a mediciones realizadas *in situ*, tablas de la II a la V.

Por lo tanto, las descargas de aguas residuales tienen impacto en el río Xayá. Derivado de los resultados obtenidos presentados en tablas anteriores, el río presenta autodepuración, dado el descenso de la carga contaminante analizado aguas abajo (molinos Helvetia).

### **3.7. Análisis comparativo con resultados de datos proporcionados por EMPAGUA en 3 puntos de muestreo coincidentes**

La comparación de resultados de informes del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, para el punto de muestreo

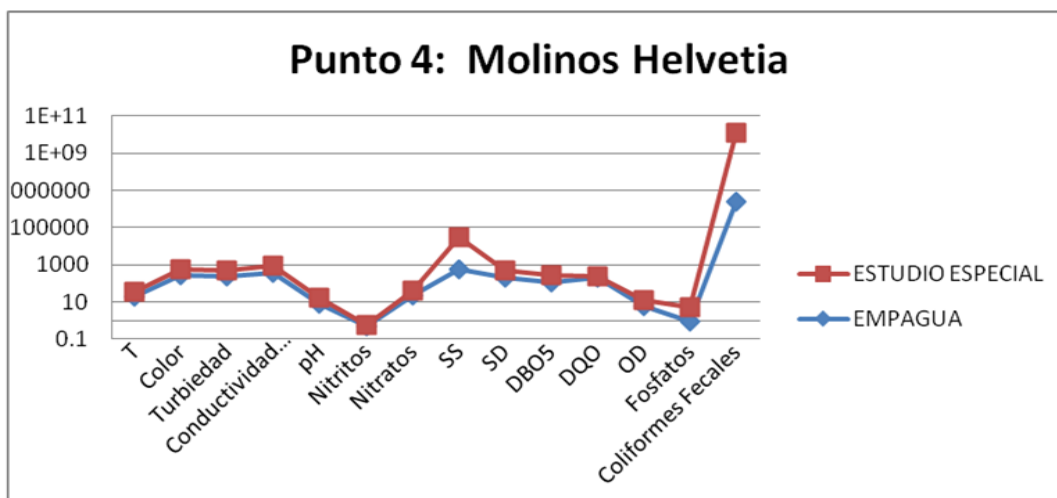
denominado molinos Helvetia o punto 4, valores promedio obtenidos y la comparación entre los dos anteriores, son:

Tabla XXVI. **Comparación de resultados, molinos Helvetia**

Parámetro	Unidades	Valor promedio EMPAGUA 2006-2010	Valor promedio 2011	Comparación en valores obtenidos
Temperatura	°C	20,38	15,38	Menor
Color	UC	277,50	256,40	Menor
Turbiedad	UNT	242,37	219,82	Menor
Conductividad	mg/L	378,50	544,60	Mayor
pH		8,11	8,83	Mayor
Nitratos	mg/L	20,74	18,46	Menor
Sólidos totales	mg/L	801,12	28 092,00	Mayor
Sólidos suspendidos	mg/L	523,25	289,60	Menor
DBO <sub>5</sub>	mg/L	119,75	144,00	Mayor
DQO	mg/L	211,12	30,80	Menor
OD	mg/L	6,33	6,51	Mayor
Fosfatos	mg/L	0,91	4,00	Mayor

Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 31. **Resultados de EMPAGUA, punto 4**



Fuente: tabla XVI.

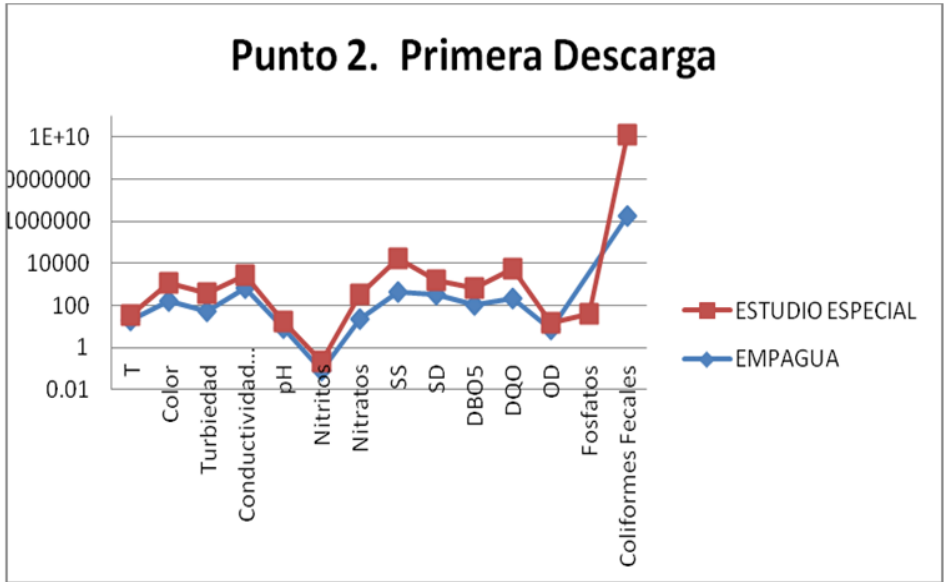
La comparación de resultados de informes del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, para la primera descarga valores promedio obtenidos y la comparación entre los dos anteriores, son:

**Tabla XXVII. Comparación de resultados, primera descarga**

	Unidades	Valor promedio	Valor promedio 2011	Comparación en valores obtenidos
Temperatura	°C	18,45	16,14	Menor
Color	UC	165,00	1 050,00	Mayor
Turbiedad	UNT	65,65	317,96	Mayor
Conductividad	mg/L	649,50	2 165,60	Mayor
pH		8,75	8,96	Mayor
Nitratos	mg/L	21,75	307,70	Mayor
Sólidos totales	mg/L	568,50	16 332,00	Mayor
Sólidos suspendidos	mg/L	79,00	1 149,40	Mayor
DBO	mg/L	108,50	594,00	Mayor
DQO	mg/L	204,00	5 077,80	Mayor
OD	mg/L	7,16	6,61	Menor
Fosfatos	mg/L	0.00	41.30	Mayor

Fuente: elaboración propia con base en muestreo.

Figura 32. Resultados de EMPAGUA, punto 2



Fuente: tabla XVII.

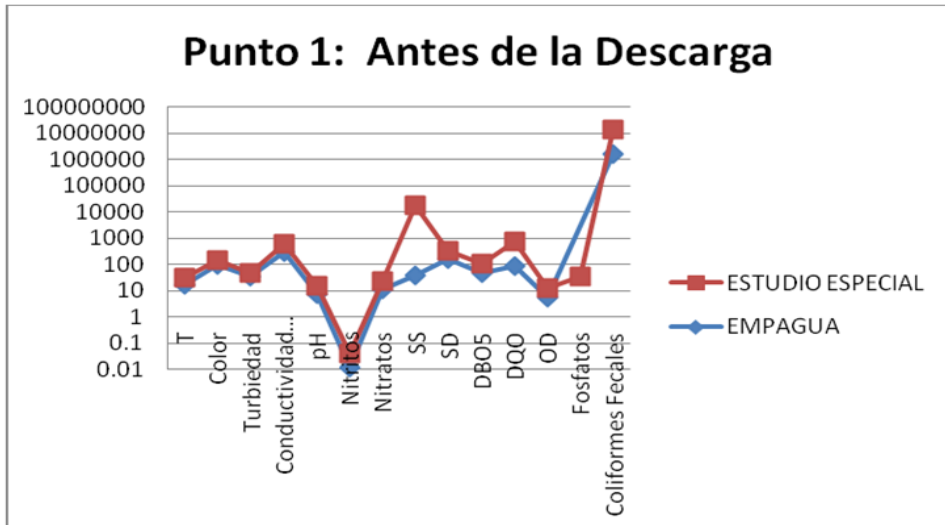
La comparación de resultados de informes del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, para el punto uno y la comparación entre los dos anteriores, son:

Tabla XXVIII. **Comparación de resultados, punto 1 o primera descarga**

	Unidades	Valor promedio 2006-2010	Valor promedio 2011	Comparación en valores obtenidos
Temperatura	°C	17,00	14,86	Menor
Color	UC	92,00	58,40	Menor
Turbiedad	UNT	33,00	13,19	Menor
Conductividad	umhos/cm	311,00	306,60	Menor
pH	unidades	7,20	7,90	Mayor
Nitratos	mg/L	11,40	11,16	Menor
Sólidos totales	mg/L	230,00	18 406,00	Mayor
Sólidos suspendidos	mg/L	39,00	162,40	Mayor
DBO	mg/L	48,30	59,80	Mayor
DQO	mg/L	91,00	646,20	Mayor
OD	mg/L	5,47	6,48	Mayor
Fosfatos	mg/L	0,00	33,82	Mayor
Coliformes fecales	NMP	1,6X10 <sup>6</sup>	1,28X10 <sup>7</sup>	Mayor

Fuente: elaboración propia, con base en muestreo.

Figura 33. Resultados de EMPAGUA, punto 1



Fuente: tabla XVIII.

Los valores promedios que aparecen en las 3 tablas previas corresponden a resultados obtenidos por EMPAGUA realizados del 2006 al 2010.

Los parámetros que en promedio han aumentado (a través del tiempo) considerablemente son: color, turbiedad, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, DQO, DBO<sub>5</sub>, fosfatos y coliformes fecales. En el punto de muestreo ubicado en molinos Helvetia, el valor de todos los parámetros es constante entre los dos estudios.

En el punto 1 los resultados de los valores están bajo los límites máximos permisibles. En el punto 2 y punto 4 la temperatura y el valor de sólidos suspendidos están sobre los límites máximos permisibles.

Al Kdasi, 2006, presenta los valores promedio de potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y color para aguas residuales de origen textil. En comparación con los datos obtenidos, en promedio, únicamente el potencial de hidrógeno en la segunda descarga está sobre el valor máximo permitido. Se hace la salvedad que los parámetros permiten valores altos (ver anexo) puesto que suponen un tratamiento previo a descarga.



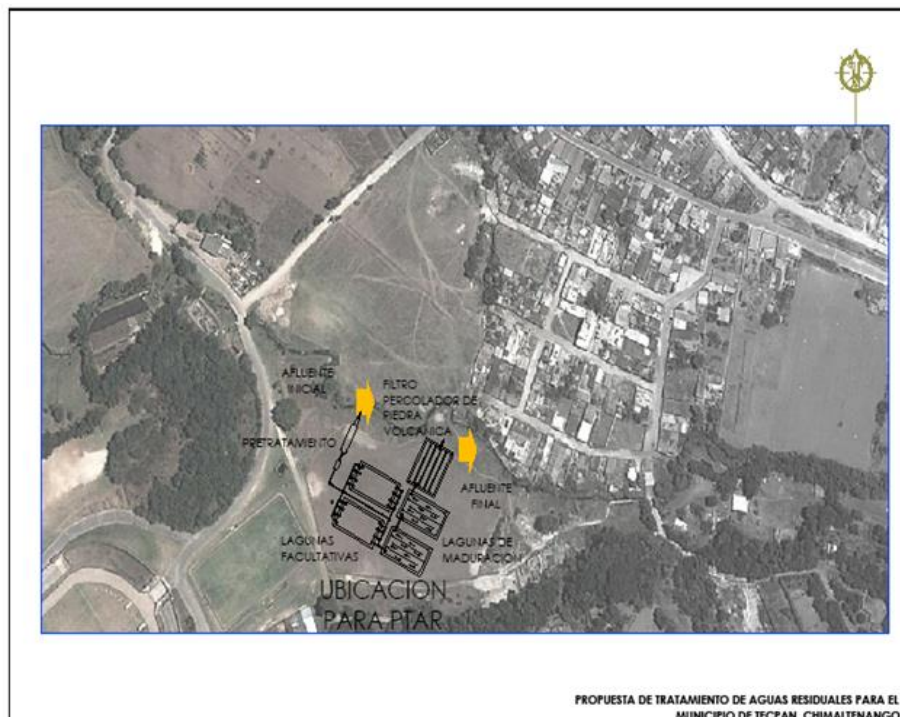


## 4. PROPUESTA DE TRATAMIENTO

### 4.1. Propuesta de ubicación de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

La viabilidad de la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, Guatemala, con base en resultados obtenidos, permite localizarla como aparece en la figura siguiente.

Figura 34. Propuesta de ubicación



Fuente: elaboración propia, con base en el programa Google Earth.

La ubicación propuesta en cuanto al espacio disponible y cercano a las descargas en estudio y al río Xayá es en el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, a un costado del Estadio Municipal, como aparece en la figura anterior.

El nivel freático donde se ubicará la planta de tratamiento no será afectado por los niveles necesarios de excavación ni funcionamiento hidráulico del sistema de tratamiento propuesto, debido a que hay una diferencia de alturas con respecto al río de descarga de 4 y 6 metros de cota invert.

Para todos los proyectos de tratamiento de aguas residuales se debe impermeabilizar el suelo y subsuelo donde se ejecutará el proyecto. En este caso se propone utilizar capas de geotextil para no contaminar por infiltración en el área de lagunas.

La ubicación de la planta de tratamiento se encuentra en un área donde el nivel freático se encuentra a una profundidad aproximada de 180 pies en el nivel estático, según empresa<sup>11</sup> en perforación de pozos mecánicos en Guatemala, la cual en abril de 2013 hizo el estudio en el municipio, según informó uno de sus colaboradores, el ingeniero Thomas Troger.

La altura sobre el nivel del mar en ubicación de proyecto es de 2 274 metros y la altura sobre el nivel del mar en ubicación de descarga y río (nivel freático) es de 2 268 metros. Por lo tanto, hay una diferencia de alturas de 6 metros con el nivel freático por lo cual es viable la construcción de la planta de tratamiento en el punto antes mencionado.

---

<sup>11</sup> IPERSA. <http://www.ipersa.com.gt>. Consulta: el 26 de mayo de 2014.

Un tratamiento adecuado no deberá ser objeto de crítica ni oposición. Al contrario, es un beneficio social y económico para la población.

La ubicación elegida es técnicamente adecuada debido a que incluye la mayor parte de caudal contaminado del municipio y el área cumple con los requisitos de topografía para que las lagunas trabajen por gravedad, sin la utilización de equipos de bombeo, logrando así un tratamiento de forma económica y ecológica para la población.

#### **4.2. Síntesis de cuatro procesos de tratamiento de aguas residuales, como propuestas analizadas ponderadas con base en nueve factores**

Los procesos de tratamiento para tratar aguas residuales municipales que son descargadas por el municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango, pueden ser:

Tabla XXIX. **Procesos de tratamiento**

Factor	Lodos Activados	Filtros Percoladores	Lagunas aireadas	Lagunas de estabilización facultativas
Resistencia a cargas de choque de materiales orgánicos y tóxicos	Mínima	Moderada	Buena	Máxima
Sensibilidad de operación intermitente	Máxima	Moderada	Mínima	Mínima
Destreza operativa del personal	Máxima	Moderada	Baja	Mínima
Requerimiento de terreno	Moderado	Moderado	Máximo	Máximo
Costo de capital	Máximo	Moderado	Moderado	Mínimo
Costo de operación y mantenimiento	Máximo	Moderado	Moderado	Mínimo
remoción de DBO <sub>5</sub>	55-95%	50-95%	40%	90-95%
Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos	55-95%	50-92%	100%	85-95%
Porcentaje de remoción de coliformes	90-98%	90-95%	---	95-98%

Fuente: Romero, Jairo, p. 181.

Para la hacer propuesta se analizaron los tratamientos anteriores y con base en la aplicabilidad del proceso, a la variabilidad del caudal, las características del afluente, el rendimiento, las restricciones ambientales, la ausencia de requerimientos de sustancias químicas, costos, el bajo requerimiento de energía, los requisitos de personal, los requerimientos de operación mínima, la confiabilidad, el bajo nivel de complejidad; se propone un tratamiento biológico con pretratamiento, lagunas de estabilización facultativas y sedimentación secundaria.

#### **4.3. Fundamentación teórica para la elección del tratamiento propuesto**

Los parámetros críticos que se consideran para proponer un tratamiento son: sólidos suspendidos,  $DBO_5$  y coliformes fecales. Con base en los resultados es evidente que las aguas residuales generadas por el municipio de Tecpán, por lo general tienen composiciones complejas y se necesita modificar estas para ajustarlas a parámetros aceptables para el bienestar de la sociedad, así como a las normas legales. El objetivo básico del tratamiento es proteger la salud y promover el bienestar de los individuos, miembros de la sociedad.

El tratamiento biológico de aguas residuales supone la remoción de contaminantes dada la actividad biológica que remueve materia orgánica mediante su conversión en gases y en biomasa que puede ser removida posteriormente mediante sedimentación.

El cribado es la operación para separar material grueso del agua mediante el paso de ella por una rejilla de cualquier material (lámina metálica, madera, concreto) agujerada ordenadamente (en forma redonda, cuadrada o cualquier forma geométrica).

Las lagunas son reservorios artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración. El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) y parte de la fracción soluble de materia orgánica ( $DBO_5$ ). El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduración es la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente nitrógeno). Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más costo-efectiva para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural. Son adecuadas para países tropicales y subtropicales.

Las lagunas facultativas son diseñadas para remoción de  $DBO_5$  que permite el desarrollo de una población algal activa. De esta forma, las algas generan el oxígeno requerido por las bacterias heterotróficas para remover la  $DBO_5$  soluble. Una población saludable de algas le confiere un color verde oscuro a la columna de agua. Las lagunas facultativas pueden tornarse ocasionalmente rojas o rosadas debido a la presencia de bacterias fotosintéticas púrpuras oxidantes del sulfuro. Este cambio en la ecología de las lagunas facultativas ocurre debido a ligeras sobrecargas. De esta forma, el cambio de coloración en lagunas facultativas es un buen indicador cualitativo del funcionamiento del proceso de degradación de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua, IMTA, 1994.

En la zona superior se produce la oxidación de la materia orgánica carbonácea por bacterias aeróbicas. El oxígeno disuelto necesario para estos procesos de oxidación que se desarrollan en la parte superior de las lagunas facultativas proviene de dos fuentes: de las algas que se desarrollan en esa zona y de la aireación que se opera en la superficie de la laguna. Los estratos superiores aerobios cubren la porción anaeróbica en la que se desarrollan

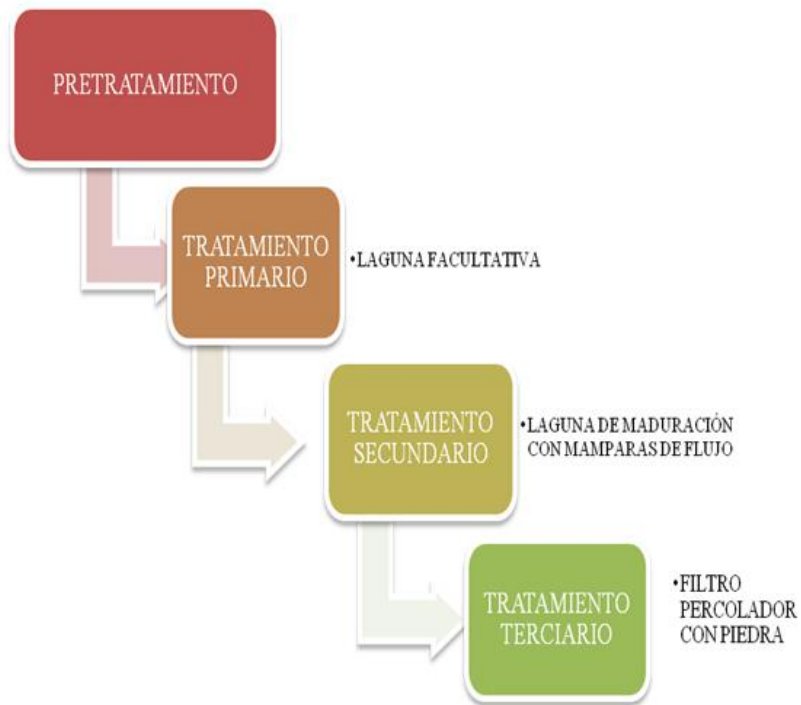
procesos similares a los que ocurren al tratar de lagunas anaeróbicas; normalmente no hay problemas de olores. La planta acuática ideal para el tratamiento y remoción de la mayoría de contaminantes y, en este caso de colorantes textiles, es el jacinto de agua debido a su rápida adaptación al clima y crecimiento acelerado.

La sedimentación secundaria sirve para remover la biomasa y sólidos suspendidos de reactores biológicos. La sedimentación puede alcanzar remoción de sólidos suspendidos del 40 al 90 % y de DBO<sub>5</sub> del 10 al 40 %. Los tanques de sedimentación de flujo horizontal son rectangulares en planta, con el fondo inclinado hacia una tolva de extracción de lodos en el extremo de la entrada. El agua residual ingresa en un nivel inferior al de la cresta del vertedero de salida y durante su viaje a través del tanque, el flujo está expuesto a corrientes y cortocircuito; los sólidos más pesados se depositan en el extremo de entrada y los más livianos hacia la salida. Los tanques son generalmente circulares, pero se han construido en forma rectangular, cuadrados, hexagonales y ortogonales; esto no parece tener influencia sobre la calidad del efluente según Romero, 2008.

#### **4.4. Propuesta de tratamiento**

Con base en mandatos constitucionales descritas en el siguiente capítulo, se propone la siguiente forma de tratar el agua residual:

Figura 35. Esquema de tratamiento propuesto



Fuente: elaboración propia, con base en tratamiento propuesto.

#### 4.4.1. Pretratamiento

Para proteger las unidades principales de una planta de tratamiento y que su operación sea eficiente, es necesario remover los sólidos flotantes de mayor tamaño y los sólidos suspendidos que frecuentemente están presentes en el caudal de entrada. Estos materiales pueden ser hojas, ramas, papel, trapos y otros desechos que pueden obstruir el flujo a través de la planta o dañar el equipo instalado. Para dicho efecto, puede ser retirados los materiales indeseables con una rejilla con barras entre 20 a 60 mm, creando un mecanismo manual de remoción de sólidos adecuado.



La longitud total de la rejilla no debe ser mayor de la que permita la limpieza a realizar por el operador. En la parte superior de la rejilla debe haber un drenaje con el fin de remover material acumulado. El canal de acceso a la rejilla debe ser horizontal, recto y diseñarse para prevenir la acumulación.

#### **4.4.2. Tratamiento primario: lagunas facultativas primarias**

Las lagunas facultativas son la variación más importante en la depuración de aguas residuales. Normalmente soporta cargas orgánicas entre 55 y 200 Kg DBO/día por hectárea de terreno, con un tiempo de retención de entre 5 y 30 días. La profundidad de la laguna debe ser entre 1,2 a 2,5m.

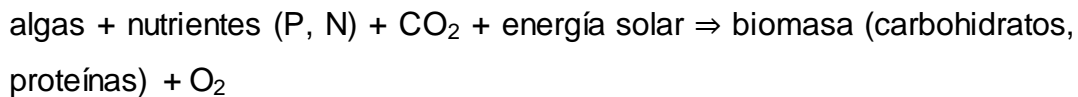
La laguna debe estar diseñada y construida de tal forma que esté compuesta por tres zonas de descomposición:

- Una zona con oxígeno disuelto en la que predominen bacterias aerobias, especialmente en la parte superior de la laguna.
- Una zona con total ausencia de oxígeno disuelto, al fondo de la laguna, donde sedimenta gran parte de los sólidos suspendidos en el líquido: anaerobiosis.
- Una tercera zona intermedia en que el contenido de oxígeno disuelto puede ser muy variable y aún estar ausente.

Las condiciones aerobias que existen en la parte superior de una laguna facultativa aerobia se deben a la acción conjunta del viento y de la actividad fotosintética, que se presenta en el cuerpo de agua.

Los nutrientes que se hallan presentes en las aguas residuales, principalmente nitrógeno y fósforo, favorecen la eutroficación. Las algas

formadas en la superficie al efectuar el proceso de fotosíntesis y producir más biomasa, requieren de bióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , del aire o del medio circundante para la síntesis de carbohidratos y proteínas y al mismo tiempo liberan oxígeno. La reacción simple del proceso de fotosíntesis es:



El oxígeno producido en este proceso de fotosíntesis que se efectúa en la capa superficial, así como el que se integra desde la atmósfera hacia el agua a través del viento, es consumido por los microorganismos que degradan aeróbicamente el material orgánico, y eventualmente una parte de este oxígeno se transfiere a la capa más interna, que es la capa facultativa. Cuando el oxígeno es abundante en la columna externa y este gas alcanza a penetrar a esta capa, las bacterias facultativas degradan aeróbicamente el material orgánico presente en el agua residual convirtiéndolo a nuevas células y gases inocuos. La capa que se encuentra en la parte más profunda de la laguna donde se está depositando el sedimento no recibe oxígeno, por lo que el proceso de degradación de materia orgánica en el fondo es anaerobio.

En la zona de anaerobiosis<sup>12</sup> se descompone el material orgánico inicialmente a ácidos orgánicos volátiles y posteriormente a otros productos terminales estabilizados como son  $\text{CO}_2$  y metano,  $\text{CH}_4$ . Si no se concreta la reacción de anaerobiosis en la capa más interna, la conversión a productos estables se puede completar en la zona facultativa.

Uno de los gases más ofensivos que se producen en las aguas residuales en condiciones anaerobias es el ácido sulfhídrico,  $\text{H}_2\text{S}$ , que resulta de la

---

<sup>12</sup> Conversión de los ácidos orgánicos a  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ .

reacción en condiciones reductoras del azufre presente en la materia orgánica. Para que este gas no se emita al medio ambiente y se presenten malos olores, el azufre se deberá oxidar a sulfato,  $\text{SO}_4^{-2}$ , en la zona facultativa o aeróbica de la laguna. También en esta región aerobia el amoníaco gaseoso,  $\text{NH}_3$ , que se forma por descomposición del material orgánico es convertido inicialmente a nitritos  $\text{NO}^{2-}$  y posteriormente a nitratos  $\text{NO}^{3-}$ .

De esta manera, se tiene un proceso de simbiosis entre los diferentes microorganismos presentes en toda la laguna, y finalmente se puede obtener agua depurada en un proceso en el cual, si se opera adecuadamente, no se presentan muchos problemas de putrefacción y malos olores.

Una de las desventajas de este tratamiento es que el agua que se obtiene como efluente está depurada de material orgánico soluble (DBO), pero tiene un alto contenido de material suspendido en forma de algas y microorganismos autotróficos, por lo que si se requiere de incrementar la calidad del agua producida, estos deberán ser removidos por uno o la combinación de más de un tratamiento como pueden ser: sedimentación, filtración o microfiltración.

El equipo pueden ser estanques de 2 a 6 m de profundidad y uno de los métodos de diseño es el empírico que utilizan relaciones matemáticas sencillas deducidas de las observaciones experimentales realizadas.

El parámetro fundamental de diseño lo constituye la reducción en una de las medidas de la carga orgánica, normalmente demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ).

Entre las ventajas están que prácticamente no hay estructuras, no son necesarios equipos mecánicos, hay mínima pérdida de carga, operación muy simple, mantenimiento con poco personal no especializado, ampliaciones y modificaciones fáciles, alta eficiencia en la eliminación o inactivación de microorganismos patógenos.

En cuanto al tirante líquido, el mismo no debe ser nunca menor de 0,90 m por razones de mantenimiento, crecimiento de malezas en la laguna y consiguiente proliferación de mosquitos. Un valor recomendable en condiciones medias es 1m. Cuando el suelo tiene alta permeabilidad, puede haber dificultades en llenar la laguna, con las consiguientes fallas en la operación y dificultades en el mantenimiento. En esos casos puede ser necesario impermeabilizar el fondo.

Se debe diseñar para proveer un período de retención hidráulica adicional para la remoción de los agentes patógenos, también mejorar la calidad del efluente en términos de DBO<sub>5</sub>.

Dos lagunas facultativas en paralelo, permite tener una fuera de servicio para el mantenimiento preventivo o correctivo.

#### **4.4.3. Tratamiento secundario: lagunas de maduración con mamparas de flujo**

Las lagunas de maduración tienen como objetivo primordial la eliminación de bacterias patógenas. Estas lagunas operarán como lagunas secundarias.

La secuencia más habitual es la de laguna anaerobia seguida de laguna facultativa y por último de laguna de maduración, si bien hay distintas variaciones sobre este esquema general, y muy a menudo se instala más de una laguna de maduración. A veces se construyen lagunas de maduración como etapa final del tratamiento de otros sistemas de depuración, como fangos activados, con lo que sustituyen a la cloración, que suele ser el método más común de desinfección en estos sistemas.

Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado.

El descenso en la concentración de nutrientes solubles observado en las lagunas de maduración se debe fundamentalmente al consumo por el fitoplancton, posible desnitrificación durante la noche y a la precipitación de sales insolubles de fósforo que se incorporan al sedimento.

Este equipo permite obtener un efluente de calidad aceptable durante épocas del año en las que la depuración es muy lenta, ayudando a absorber puntas de carga y caudal o en situaciones de sobrecarga.

#### **4.4.4. Tratamiento terciario: filtro percolador con piedra**

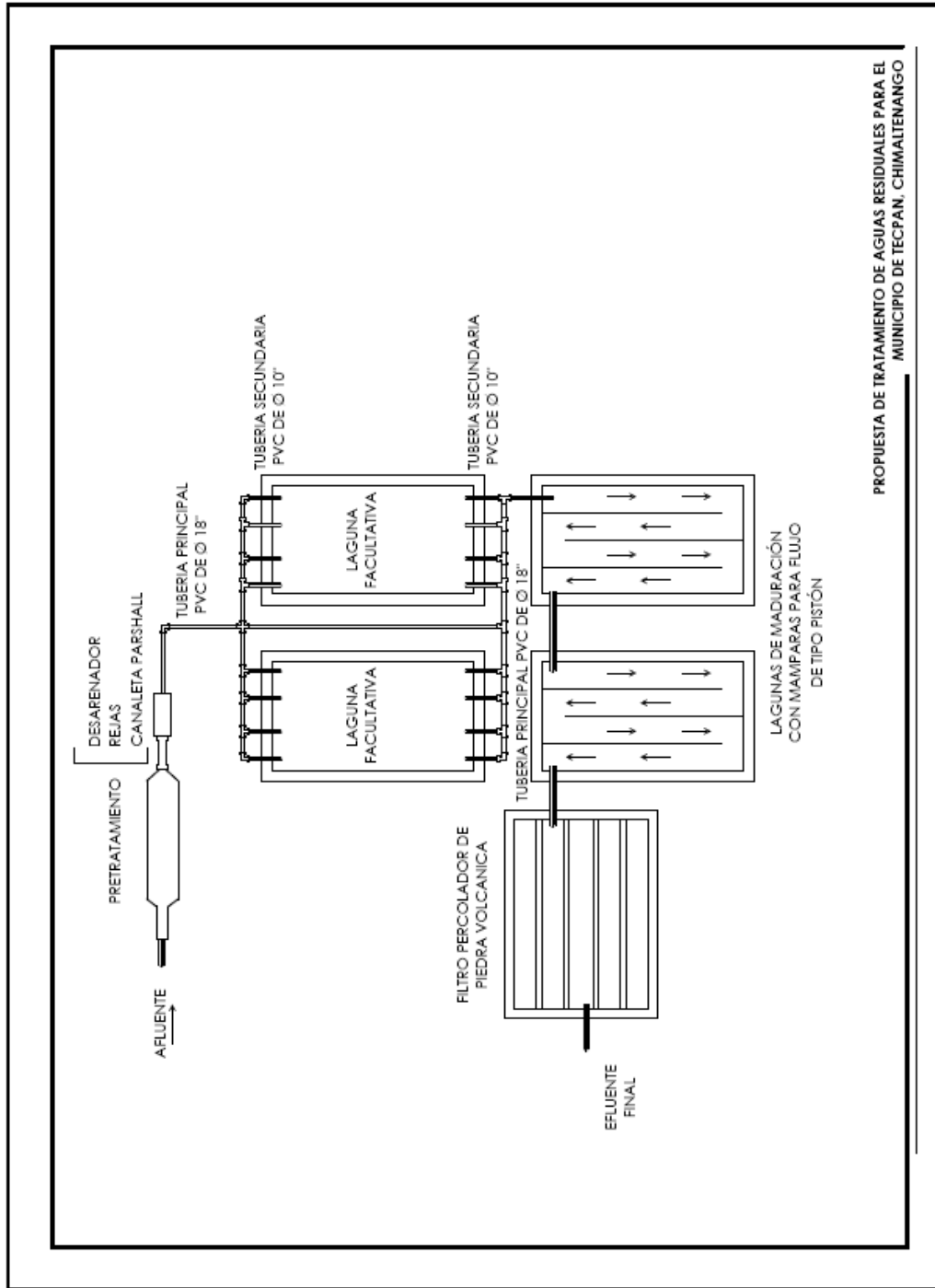
También llamados biofiltros. Esta unidad puede ser una torre de contacto en la que el agua residual escurra desde arriba por un lecho fijo en el que la biomasa se encuentra adherida. Este lecho fijo se compondrá de piedras (pueden ser piezas plásticas u otro material), sobre las cuales se realiza una aspersión de las aguas residuales, mediante un brazo rotatorio con orificios o

boquillas, el cual es movido por un motor o por la misma acción dinámica del agua al golpear con la superficie del lecho.

Con el tiempo, se forma una biopelícula (*biofilm*), llamada también zooglea, sobre este material de soporte; esta biopelícula se alimenta de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas del afluente.

En la superficie del filtro, por efecto de la luz solar, suelen crecer comunidades de algas que podrían llegar a obstruir parcialmente el filtro, por lo que es necesario tomar las medidas preventivas.

Figura 36. Esquema general de propuesta de tratamiento



Fuente: elaboración propia con el programa AutoCad.

#### **4.5. Consideraciones hidráulicas para el tratamiento propuesto**

- Medición de caudales

Debe instalarse una canaleta tipo Parshall o Palmer Bowls a la entrada de la instalación para la medición de caudal y un vertedero de tipo rectangular a la salida de la unidad, para la evaluación de la laguna y comprobación de la magnitud de infiltración.

- Dispositivos de repartición

En los casos que se tengan lagunas operadas en paralelo, deben instalarse dispositivos repartidores de flujo. Los repartidores más apropiados son aquellos que cumplen su función para todo el intervalo de caudales, desde el mínimo hasta el máximo horario.

Se recomienda la utilización como dispositivos de repartición: un canal con tabique divisorio. Debe existir antes del tabique un tramo recto con una longitud mínima a 10 veces el ancho del canal. No se recomienda la utilización de vertederos rectangulares como repartidores por la acumulación rápida de arena en el vertedero.

También se puede utilizar el distribuidor circular universal, el cual puede emplearse para la repartición de dos o más partes, de acuerdo con la longitud del vertedero de cada segmento.



- Dispositivos de entrada, interconexión y salida

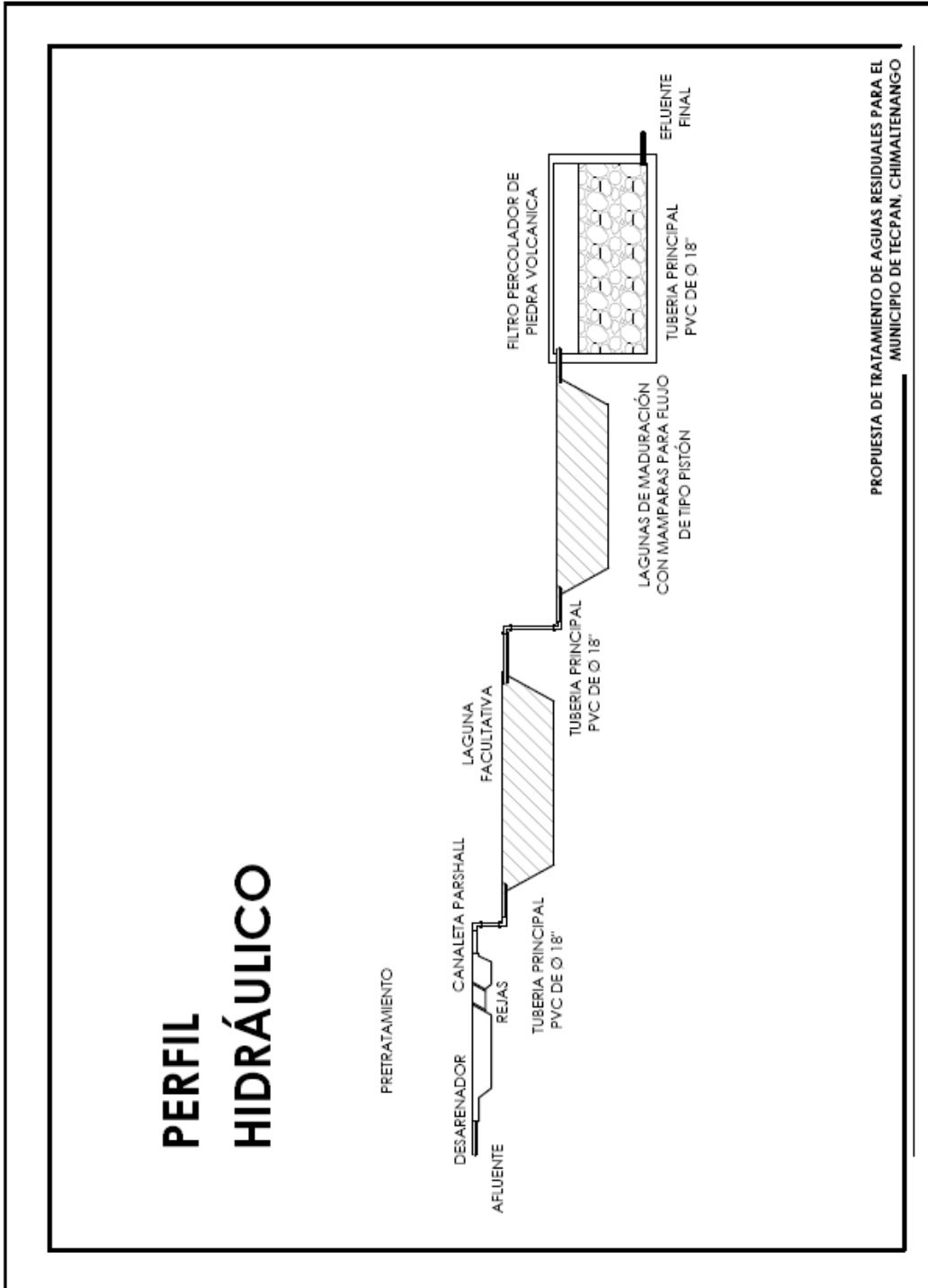
Estas partes deben diseñarse en la forma más simple posible, evitando la utilización de válvulas y mecanismos que se deterioren por efecto de las características corrosivas de las aguas residuales, y mayormente por la falta de uso.

Como dispositivo de entrada se recomienda la tubería simple con descarga visible sobre la superficie de la laguna. La tubería puede estar colocada sobre un dique a una altura de 20 o 30 cm sobre la superficie del agua. Los dispositivos de interconexión deben concebirse de modo que no se produzca una caída turbulenta en efluente y se genere espuma.

Deben evitarse descargas turbulentas para evitar la pérdida de calor. Para unidades en serie con reducida diferencia de nivel entre las unidades se puede optar por una canaleta de interconexión y medición, para mínima pérdida de carga. Para las unidades en serie con una considerable diferencia de nivel puede establecerse un sistema de interconexión cerrado con tubería de plástico, concreto o acero.

El diseño de las estructuras de salida dependerá del caudal de cada unidad y de las condiciones de operación durante el período de limpieza de lodos, pues en estos casos generalmente se recarga una de las baterías mientras la otra se encuentra fuera de operación.

Figura 37. Perfil hidráulico



Fuente: elaboración propia con el programa AutoCad.

## 5. PLAN PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE TECPÁN

Para generar un plan estratégico e integral deben considerarse componentes técnicos, científicos, sociales, culturales, económicos y coyunturales que permitan la ejecución y validación del mismo con pertinencia; permitiendo así, que la propuesta se ejecute y sirva como base para mejorar el desarrollo y bienestar del municipio de Tecpán. La gestión integral de aguas residuales propuesta en este estudio como un Plan Integral de la Municipalidad de Tecpán, se basa principalmente de la misión y visión municipal que ha llevado a desarrollar el Plan de Desarrollo Municipal Tecpán Guatemala Chimaltenango 2011-2025 (PDM) y la ruta seguida se esquematiza así:

Figura 38. Estructura para obtención del Plan



Fuente: elaboración propia con base en la misión y visión municipal y el PDM.

Tabla XXX. **Misión y visión de la Municipalidad de Tecpán**

Misión	Visión
<p>“La Municipalidad de Tecpán Guatemala del departamento de Chimaltenango es una entidad autónoma que se dedica a promover el <b>desarrollo de la ciudad, a través de</b> actividades sociales, culturales, educativas, deportivas, religiosas, <b>ambientales, ejecución de obras de infraestructura y prestación de servicios y que esto contribuya a mejorar la calidad de vida y satisfacer las necesidades de nuestros vecinos y lograr los objetivos trazados por la población.</b>”<sup>13</sup></p>	<p><b>“Ser una institución destacada en la prestación de servicios a la ciudad y fortalecer el desarrollo integral y sostenible del municipio.”</b><sup>14</sup></p>

Fuente: <http://www.inforpressca.com/tecpán/>. Consulta: 25 de julio de 2013.

<sup>13</sup> Municipalidad de Tecpán de Guatemala.  
<https://munitecpanguatemala.gob.gt/index/mision.php>. Consulta: 25 de julio de 2013.

<sup>14</sup> Ibid.

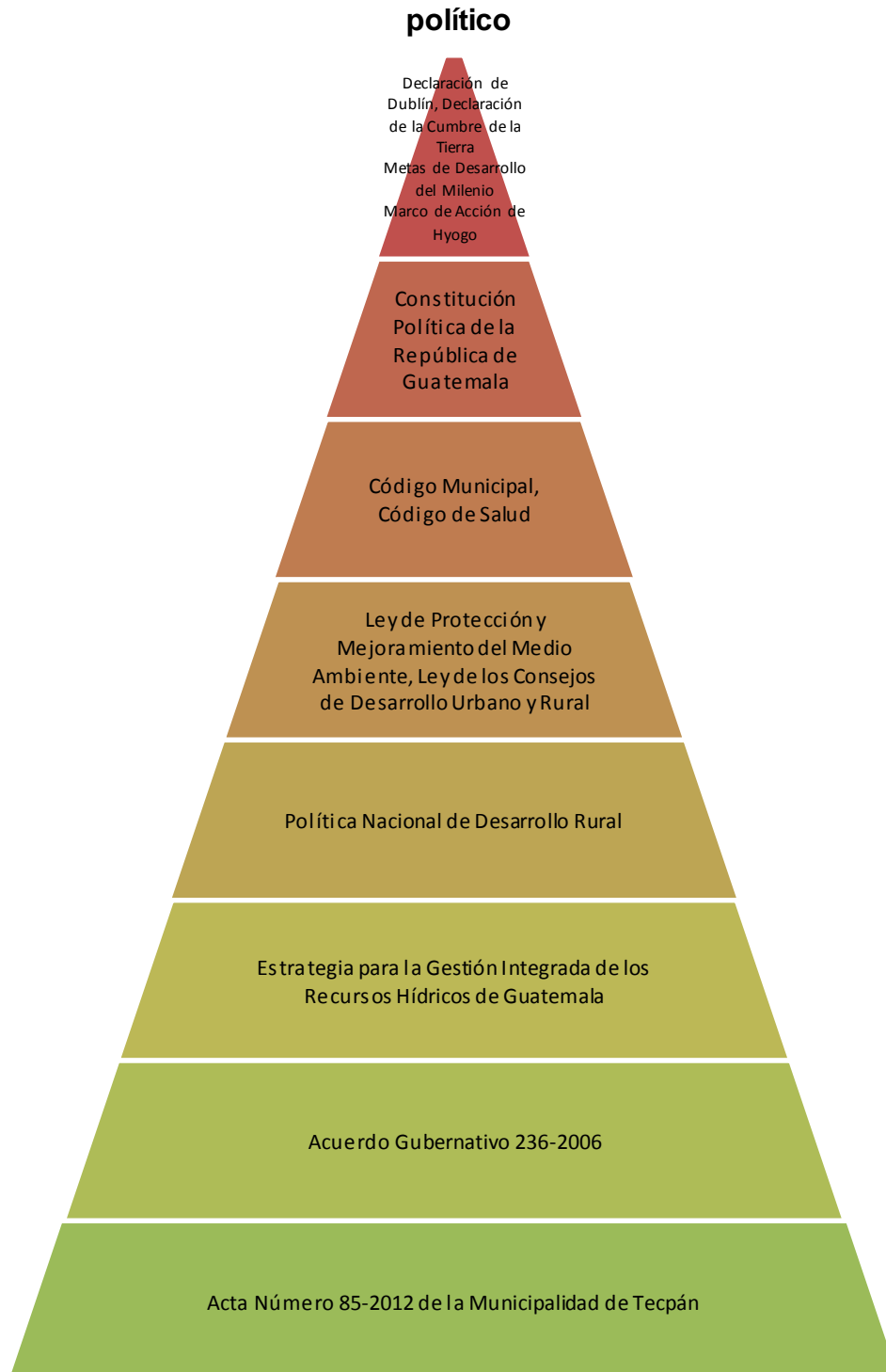
## **5.1. Marco legislativo**

Se abarcan en dos aspectos: legal y gobernabilidad. El primero, el legal, se representa por medio de una herramienta común utilizada en el campo jurídico, la Pirámide de Kelsen<sup>15</sup> la cual se presenta a continuación:

---

<sup>15</sup> Categoriza las diferentes clases de normas ubicándolas en una forma fácil de distinguir cual predomina sobre las demás, un sistema jurídico escalonado.

Figura 39. Pirámide de Kelsen para la evaluación del componente



Fuente: elaboración propia.

La Declaración de Dublín prioriza el agua dulce como recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente, aduciendo que la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación multisectorial, la importancia de la participación de la mujer y la valorización económica del agua. La Declaración de la Cumbre de la Tierra toma en cuenta que los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible que está íntimamente relacionado con la protección del medio ambiente.

El Objetivo No. 7 de las Metas del Desarrollo del Milenio propone garantizar el sustento del medio ambiente.

La prioridad No. 1 del Marco de Acción de Hyogo sugiere que la reducción de los riesgos de desastre (epidemias, afecciones gastrointestinales, daño temporal o permanente al río Xayá) constituya una prioridad nacional y local.

Los tratados y convenios internacionales definen acciones concretas respecto la gestión integrada del agua que han sido aprobados por el Congreso y ratificados por el Organismo Ejecutivo de Guatemala.

El Artículo 94 de la Constitución Política de la República de Guatemala establece que el Estado velará por la salud de sus habitantes desarrollando acciones de prevención, recuperación, rehabilitación y coordinación para garantizar el bienestar físico, mental y social.

El Artículo 94 y 96 del Código de Salud responsabiliza a las municipalidades con la construcción de obras de tratamiento de aguas negras y servidas para evitar la contaminación de otras fuentes de aguas, a lo establecido en Acuerdo Gubernativo 236-2006 donde expresa que todas las

municipalidades deberán cumplir con tener en operación, por lo menos con sistemas de tratamiento primario al cumplirse a más tardar el dos de mayo del dos mil quince y el Artículo 9 del Acta Número 85-2012 de la Municipalidad de Tecpán, donde especifica que el municipio debe regular el servicio, establecerlo, mantenerlo para garantizar un funcionamiento eficaz, seguro y continuo.

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, la Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural, la Estrategia para la GIRH y el AG-236-2006, junto con los anteriores mencionados, siendo de carácter obligatorio, deben ser cumplidos. De lo contrario, se expondrán a las consecuencias (multas, sanciones o prisión, según corresponda).

Se propone que instituciones gubernamentales velen transparente y conscientemente por el cumplimiento de los mismos junto con la colaboración de los pobladores al denunciar (sin miedo a represalias) incumplimiento estatal.

En el aspecto de gobernabilidad, la situación de contaminación actual y propuesta de solución debe ser incluida dentro de las agendas municipales, con voluntad política para crear una actitud institucional favorable, desarrollo de conocimientos y capacidades y anteponer los derechos sociales antes que los personales. La gobernabilidad tiene actores con relación con la economía, fuerzas militares, medios de comunicación, política, crimen organizado, sociedad civil, autoridades religiosas, burocracia e intelectuales, que deben ser visibilizados y manejados adecuadamente.

El Gobierno puede regular:

- El medio físico mediante obras de infraestructura de la planta de tratamiento propuesta, fundamentalmente para preservar bienes, reducir



la vulnerabilidad ante amenazas naturales del agua y para conservar la cantidad y la calidad del río Xayá.

- La interacción de los sistemas usuarios con el medio físico, asegurar que la planificación y ejecución de las obras constructivas necesarias que se realicen sean las adecuadas y que las aguas residuales cumplan con las condiciones y normas establecidas.
- La interacción de los sistemas usuarios que comparten el agua disponible de una cuenca, principalmente para establecer y reconocer derechos de uso, resolver conflictos entre usuarios.

Al proponer una planta de tratamiento de aguas residuales, el componente a subsanar obviamente es el agua utilizada por el municipio de Tecpán. Sin embargo, existe una coyuntura con otros elementos ambientales y que están incluidos dentro del contexto legal-ambiental.

## **5.2. Análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA)**

El PDM presenta un análisis de problemáticas y potencialidades del municipio de Tecpán, con lo que se construyó la siguiente tabla, tomando como aspectos positivos o negativos internos (fortalezas y debilidades respectivamente) y aspectos positivos o negativos externos (oportunidades y amenazas respectivamente).

Con base en este análisis, se deberá actualizar anualmente dado el cambio institucional, climático y social, pues permiten que ciertas condiciones varíen y es importante considerarlas integralmente.

Tabla XXXI. **Matriz FODA del municipio de Tecpán**

Fortalezas	Debilidades
<p>F.1 Existe un alto nivel de cobertura del nivel primario, tasa de 104,75 % .</p> <p>F.2 299 docentes indígenas contratados para el sector educativo.</p> <p>F.3 Cobertura de servicio de energía eléctrica: 84 % servicio municipal, 16 % candela, 11 % con gas.</p> <p>F.3 La mayor parte de la población es joven con potencial de mejor nivel de educación.</p> <p>F.4 Organización de Juntas Locales de Seguridad que mantienen niveles aceptables de orden público.</p> <p>F.5 Diversidad de producción que permite ampliar mercado comercial.</p> <p>F.6 31 % de bosque natural.</p> <p>F.7 Potencial en comercio de hortalizas por las favorables condiciones climáticas y de suelo.</p> <p><b>F.8 Potencial en la artesanía y producción de tejidos, bordados, velas, güipiles,</b> artículos de madera.</p> <p>F.9 Identidad cultural, tradición indígena.</p> <p><b>F.10 Buen nivel de organización de COCODES.</b></p>	<p><b>D.1 Los servicios de salud son insuficientes, la infraestructura no responde a cantidad de población, así como el personal y equipo.</b></p> <p>D.2 Sobre población de alumnos en las escuelas públicas, la infraestructura inadecuada o deteriorada.</p> <p>D.3 Solo el 13,06 % de la población entre 12 y 21 años está cubierto por el nivel básico, un buen porcentaje queda sin tener acceso a educación en este nivel.</p> <p>D.4 La tasa neta de escolarización fue de 8,86 % en el nivel de diversificado. Los establecimientos de básico y diversificado se localizan principalmente en el área urbana y dan reducida cobertura.</p> <p><b>D.5 La cobertura de los servicios básicos presenta déficit, sobre todo red de drenajes, servicios de agua.</b></p> <p>D.6 Tecpán Guatemala es el tercer municipio en el departamento que registra mayor pobreza extrema.</p> <p><b>D.7 Existen varios focos de contaminación específica, en los ríos por insumos agrícolas (pesticidas), desechos sólidos y líquidos.</b></p> <p>D.8 Existen incendios forestales, especialmente en febrero, marzo y abril. La causa ha sido intencional.</p> <p>D.9 La mayor parte de la población tiene ingresos inferiores al salario mínimo que no alcanza a cubrir sus necesidades básicas.</p> <p>D.10 La Población Económicamente Activa tiene como principal fuente de trabajo empleos informales y temporales.</p> <p>D.11 Baja participación de las mujeres en la economía local. Las mujeres están recluidas a la economía doméstica que no genera ingresos, a pesar de las importantes funciones para la reproducción de la fuerza de trabajo.</p> <p>D.12 Proliferación de basureros clandestinos.</p> <p>D.13 Cerca del 25 % de las viviendas se encuentran ubicadas en lugares de riesgo.</p> <p>D.14 Inseguridad ciudadana.</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>O.1 Potencial de explotación del bosque con un programa de manejo sostenible del recurso.</p> <p>O.2 Templos de Iximché.</p> <p><b>O.3 Valor paisajístico donde se puede implementar una estrategia combinada de conservación y explotación sostenible.</b></p>	<p>A.1 Susceptibilidad de la agricultura debido a las condiciones climatológicas.</p> <p>A.2 Casi un 25 % de los tramos carreteros son considerados de difícil acceso, los cuales se ven afectados en tiempo de invierno.</p> <p>A.3 Existe migración por periodos prolongados por falta de oportunidades de trabajo.</p> <p>A.4 Deforestación que provoca escorrentías superficiales y deslizamientos, derrumbes, deslizamientos, debilitación de recarga hídrica del manto freático.</p> <p><b>A.5 No existe un manejo apropiado de la cuenca.</b></p>

Fuente: elaboración propia con base en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala Chimaltenango 2011-2025, apartado 7.3.

### **5.3. Marco institucional**

Se identifican los siguientes actores de gestión, cada uno con atribuciones específicas dentro de su accionar mandatorio o reglamentario:

- El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales le corresponde proteger el río hacia el cual están siendo actualmente descargadas las aguas residuales y verificar el cumplimiento de los reglamentos a través de la Dirección General de Cumplimiento Legal, la Dirección General de Gestión Ambiental y Recursos Naturales y la Dirección General de Políticas y Estrategias Ambientales, la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas Hidrográficas, canalizado por medio de la Delegación de Chimaltenango.
- El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social velará por la propuesta y el cumplimiento de la normativa de saneamiento ambiental y la capacitación continua y efectiva del inspector de saneamiento ambiental del Centro de Salud.
- El Instituto de Fomento Municipal deberá fortalecer las capacidades técnicas y sociales de la Municipalidad de Tecpán para que se transforme y pueda ser más eficiente, autosostenible, que priorice y optimice los recursos.
- La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres deberá dar acompañamiento técnico para garantizar el cumplimiento de las Normas de Reducción de Desastres durante la construcción de la planta de tratamiento, así como garantizar el bienestar de los colaboradores durante la operación. Velar por el cumplimiento de planes de evacuación

y capacitación por riesgos generados durante crecidas, sismos o huracanes, entre otros.

- La Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala deberá contribuir al trabajo en conjunto con la Municipalidad de Tecpán para consensuar el pago por servicios ambientales, así como la implementación del proyecto social: salud para empleados (colaboradores actuales y personas con el perfil adecuado para laborar en la planta de tratamiento). La institución debe estar involucrada puesto que no puede permitir nuevamente el paro de la distribución de agua, como ya ocurrió en el pasado, dejando a más de 400 000 personas sin el suministro del recurso.
- La Fiscalía de Delitos Contra el Ambiente del Ministerio Público deberá de darle seguimiento a las denuncias presentadas contra empresas textiles durante el 2008 y 2009.
- La Municipalidad de Tecpán será el ente rector de la toma de decisiones y del proyecto en sí, a través del Consejo Municipal y el alcalde municipal con el apoyo y colaboración del síndico I (trabajando para el diseño e implementación de políticas, programas, y garantizar que el proyecto tenga enfoque participativo), la Dirección de Obra Pública (oficinas de: Proyectos y Gestión, Estudios de Obras, Monitoreo y Evaluación, Investigación y Diagnóstico), el inspector de saneamiento ambiental que colabora en el Centro de Salud, la Oficina Municipal en Gestión de Riesgos que tendrá relación directa con CONRED, la Oficina Forestal y Ambiental siendo estas últimas, responsables de abanderar el desarrollo de todo el proyecto con enfoque preventivo.

La Municipalidad deberá proveer equipo y material para realización de reuniones de la Mesa de Diálogo Municipal, así como los documentos que de ella surgiere.

- Los centros educativos ubicados en el municipio de Tecpán pueden tener incidencia en la educación ambiental a la población, en la divulgación del proyecto, en la colaboración de censos o encuestas, en la integración de sus padres de familia para el manejo de aguas residuales. Algunos de estos centros son: la Escuela Nacional Urbana Mixta Miguel García Granados, Colegio Evangélico Bethesda, Centro Educativo Mundo Mágico, Instituto por Cooperativa de Enseñanza Tecnológico, Centro Escolar San Vicente de Paul, Centro Educativo Bilingüe Ixmukané, Escuela Oficial Urbana Mixta Iximché, entre otros. Las instituciones universitarias aportarán conocimiento, mano de obra e investigación. Por la Universidad de San Carlos de Guatemala, el ente responsable de coordinar las actividades académicas y de Ejercicio Profesional Supervisado de las unidades académicas pertinentes será la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, (ERIS). El Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar ha realizado certificación de la gestión local que propone un cronograma de trabajo, muestra el propósito, ventajas, proceso y niveles para la certificación; así como la dinámica, instrumentos de evaluación, registro y ponderación de indicadores. La presentación fue realizada por miembros del IARNA a la Municipalidad de Tecpán y deberá continuar con la promoción del conocimiento.
- La participación ciudadana se concretará en los Consejos Comunitario de Desarrollo (COCODES) y COMUDES quienes fomentan el desarrollo a través de proyectos de infraestructura y servicio de aguas residuales;

ACAX como encargada de operativizar la compensación financiera, fortaleciendo la capacidad de convocatoria a participar en el proyecto puesto que si la ciudadanía está informada y aporta; le dará mayor credibilidad y apropiación al sistema de tratamiento de aguas residuales.

Lograr cohesión social y confianza de todos será a través de un proceso transparente y eficaz. La desigualdad racial histórica, no por eso aceptada, persiste y los indígenas del municipio de Tecpán, en su mayoría kakchiqueles, tienen una cosmovisión que debe ser respetada. Desde la lógica de pueblos indígenas, todo es vida, todo está interrelacionado, se resuelve en consenso, se honra la palabra, se consulta a ancianos y a la comunidad, se respeta el equilibrio con la madre naturaleza de acuerdo a Lux, O., 2010.

El empoderamiento de los diferentes grupos étnicos permitirán un desenvolvimiento apropiado, exitoso, con pertinencia cultural. No se refiere únicamente a convocarlos a reuniones, es de integrar la visión holística de la tierra como factor de producción, sagrada, una forma de vivir respetuosa del medio ambiente.

### **5.3.1. Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM)**

La descripción del Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM) es la siguiente:

“Para el 2025; el municipio de Tecpán Guatemala desarrolla acciones y garantiza el acceso, eficiente y eficaz de servicios de salud, educación, seguridad, etc. que contribuyen al desarrollo integral de las comunidades con énfasis en el área rural y a la reducción de la pobreza en el municipio.

Por tanto en el municipio se brinda calidad de vida a las familias y se fomenta Educación y Capacitaciones Técnicas como herramientas para Erradicar la Pobreza.

Tecpán cuenta con políticas y programas consolidados para mejorar los ingresos económicos municipales y fortalecimiento de la producción agropecuaria y agroindustrial para la dinamización de la economía local garantiza fuentes empleos además brinda su contribución para el mejoramiento del medio ambiente.

Se fomenta la productividad agropecuaria y agroindustrial mediante alianzas estratégicas y acciones conjuntas entre gobierno local, gobierno central, sector empresarial y social, creando climas de confianzas de la inversión público-privada y fortalecimiento de la economía local.

En el municipio se impulsa y mejora el bienestar social de los productores de hortalizas y el fortalecimiento de criaderos de ganados y sus derivados para su incorporación en el sector económico dinámico y cuenta con **estrategias para el mantenimiento del saneamiento ambiental y la recuperación de fuentes hídricas vitales para el municipio.**

Es una comunidad que facilita los espacios de diálogos y de convergencias para la coordinación de acciones que contribuyen al impulso de turismo y ecoturismo y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales.

Con la implementación de mecanismos de recaudación y procesos de concientización al sector turismo Tecpán Guatemala recauda el 80 % de ingresos y cuenta con recursos financieros provenientes del turismo.

El municipio de Tecpán Guatemala es un municipio modelo en el que se fomenta el turismo, ecoturismo, centros de convivencia, de la región central kaqchikel trabajando de manera coordinada con organizaciones sociales, comunitarias y empresas privadas.

El municipio cuenta con un centro de formación y capacitación para los diferentes sectores brindando como resultado que negocios, comercios, etc. del sector y brindan servicios de calidad.

**Se cuenta con infraestructura para el tratamiento de desechos sólidos y líquido y una planta de tratamiento de aguas residuales del municipio. Así como la implementación de políticas de protección de los habitantes del municipio y de las aldeas vulnerable ante catástrofes naturales.**

Los mercados del municipio son seguros, las zonas de inseguridad han disminuido, existe una **buena participación ciudadana, que permite hacer de Tecpán Guatemala un municipio con mejores niveles de vida, respetuoso de los derechos de sus pobladores**, así como una ciudad que constantemente genera más y mejores fuentes de empleo, **con instituciones accionando eficientemente.**

Se prevé la creación de más micro regiones que puedan albergar comunidades habitacionales provistas de los servicios básicos necesarios para satisfacer las necesidades en proporción al crecimiento de la población y la demanda ante estos servicios.”



#### **5.4. Marco Lógico Global basado en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM)**

El panorama global municipal esquematizado a continuación es extraído del Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM), donde indica literalmente los ejes de desarrollo, el objetivo general, los objetivos específicos y estratégicos en los que se basa el Plan Integral de Gestión de Aguas Residuales Municipales propuesto posteriormente. Aparece en negrilla lo que para este estudio concierne:

Tabla XXXII. **Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM), ejes de desarrollo y objetivos**

Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM)
Ejes de Desarrollo
<p><b>1.</b> <i>“Social y reducción de la pobreza con equidad:</i> Describe las deficiencias y potencialidades del municipio, que en cierto grado afecta sobremanera su desarrollo. Las carencias en algunos servicios básicos tales como; salud, educación, profundas desigualdades y falta de oportunidades, son factores que no permiten alcanzar el desarrollo integral del municipio. Es, entonces, a través de este eje en donde se pretende avanzar, como parte de una estrategia mayor, en bajar los índices de pobreza y extrema pobreza, que son particularmente crítico en este municipio, mostrando una brecha de 7.9, mínimamente a 3.0 para el año 2015. De manera que <b>las autoridades y los actores sociales vivos tienen en sus manos el reto de asumir con responsabilidad y visión de futuro, la posibilidad de reducir la pobreza, a través de planes estratégicos, desarrollo y ejecución de proyectos desde una óptica social y de servicio comunitario, mejorando los accesos a servicios básicos, los cuales implican competencias institucionales compartidas, tanto municipales, de la sociedad, del gobierno central y de la cooperación.</b></p>
<p><b>2.</b> Económico y ambiental: Se constituyen en prioridad para las autoridades municipales y de la sociedad en general, al considerar, que se convierten en los ejes que promoverán y generarán oportunidades para el desarrollo y la reducción de la pobreza en el municipio. Por lo tanto con este eje de desarrollo se pretende orientar y fortalecer los vínculos con los mercados locales, regionales, nacionales e internacionales. Cabe resaltar que el municipio de Tecpán Guatemala por su ubicación estratégica geográfica no tiene todas las ventajas de convertirse en el centro de comercio como punto de intercambios comerciales entre las distintas regiones del país. Además tiene fuerte presencia industrial en el territorio, el cual le agrega un potencial que habrá que orientarlo y enriquecerlo con un ambiente de equidad, que permita una mejor participación de la juventud y principalmente de las mujeres dentro del campo laboral-productivo. <b>Por aparte, la explotación de los recursos naturales y el manejo inadecuado a las aguas servidas y desechos sólidos, deterioran de manera acelerada el medio ambiente, por lo que se encuentran en riesgo, los mantos acuíferos y las cuencas de los ríos, esto gran medida degenera la calidad de vida de los habitantes del municipio, por lo que es preciso contar con acciones y medidas preventivas que ayuden a la conservación y protección del medio ambiente.</b></p>

Continuación de la tabla XXXII.

<p>3. <i>Eco-turístico y manejo sostenible de los recursos naturales:</i></p> <p><b>A través de este eje de desarrollo se proponen acciones transformadoras que implican promover el cuidado de los activos ambientales, mediante proyectos de saneamiento, protección de recursos naturales con valor eminentemente cultural y ambiental, manejo sostenible de actividades productivas en lugares impresionables, así como la promoción a una cultura y uso adecuado del agua entre la población y agentes económicos. Así mismo se facilitarán espacios de diálogo y de convergencias para la coordinación de acciones que contribuyan al impulso de turismo y ecoturismo y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales. Con el establecimiento de programas de educación ambiental y participación social que fomenten la conciencia ecológica, se buscará la protección de fuentes de agua, conservación de suelos, bosques, contribuyendo al cumplimiento del ODM 7- Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente-, específicamente a la meta 9 del país. Establecer una estrategia de coordinación con organizaciones públicas y privadas entre ellas; el Instituto Guatemalteco de Turismo –INGUAT-, el INAB, MAGA, MICUDE, IDAEH, Sector Privado; IRTRA, AGEXPORT, cooperativas y Sector social para formular un plan estratégico sectorial para reimpulsar el atractivo turístico de Tecpán Guatemala. Y la elaboración de programas educativos sobre recursos naturales y ambientales entre la Municipalidad de Tecpán Guatemala, Ministerio de Educación –MINEDUC-, Comité Nacional de Alfabetización –CONALFA-, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social –MSPYAS-, Universidades, Procuraduría de Derechos Humanos –PDH- y Organizaciones Civiles y su incorporación en la Currícula o pensum de estudios en los diferentes niveles educativos. Se requerirá que la Oficina Municipal de Planificación y la Oficina Forestal y Ambiental sean los entes responsables de abanderar el manejo de riesgo con enfoque preventivo y coordinar las acciones de reforestación en las cuencas del Motagua, Madre Vieja, Coyolate y Xayá Pixcayá, el astillero municipal y otras áreas boscosas. (Recuperación de áreas degradadas sin cobertura y conservación de las áreas con cobertura)."</b></p>
<p>Objetivo General</p>
<p>"Contar con un instrumento de planificación con enfoque territorial y participativo que recoge la <b>problemática social, económica, ambiental e institucional del municipio</b> y, de forma priorizada, provea de la orientación estratégica necesaria para <b>alcanzar la superación de los Objetivos del Milenio –ODM-</b>; así como el conocimiento social de lo local, el acondicionamiento básico y la instrumentación para la institucionalización de enfoques de racionalidad sustentable frente a las amenazas naturales, el <b>manejo integral de los recursos hídricos</b> y la adaptación al cambio climático."</p>
<p>Objetivos Específicos</p>
<p>"Sentar bases de conocimiento social ampliado de la problemática territorializada y de sus propuestas de solución, así como establecer mecanismos mensurables y participativos de monitoreo del cumplimiento del PDM. Orientar el esfuerzo local para contribuir a la superación de los ODM. Plantear las bases de conocimiento local para avanzar <b>en el diálogo sobre las necesidades de ordenamiento territorial, gestión del riesgo y manejo integrado de recursos hídricos</b> en el municipio. Proveer un instrumento que contribuya a <b>fortalecer las relaciones intermunicipales en la gestión de soluciones a problemas comunes en los niveles departamental y regional</b> como parte del Sistema nacional de Planificación".</p>

Continuación de la tabla XXXII.

Objetivos Estratégicos
<p><b>1.1 “Fortalecer los servicios esenciales en el municipio que garanticen la reducción de la pobreza.</b></p> <p><b>2.1 Consolidar políticas y programas para mejorar los ingresos económicos municipales y fortalecer la producción agropecuaria y agroindustrial para la dinamización de la economía local que posibilite la generación de empleos y la contribución para el mejoramiento del medio ambiente.</b></p> <p><b>3.1 Facilitar los espacios de diálogos y de convergencias para la coordinación de acciones que contribuyan al impulso de turismo y ecoturismo y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales.”</b></p>

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala Chimaltenango 2011-2025.

El Plan Integral por componente y anual propuestos en este estudio está basado en lo expuesto en el este capítulo, resaltado en negrilla y que además aparece a continuación:

- a. Misión de la Municipalidad de Tecpán: “...desarrollo de la ciudad, a través de actividades ambientales, ejecución de obras de infraestructura y prestación de servicios y que esto contribuya a mejorar la calidad de vida y satisfacer las necesidades de nuestros vecinos y lograr los objetivos trazados por la población.”
- b. Visión de la Municipalidad de Tecpán: “Ser una institución destacada en la prestación de servicios a la ciudad y fortalecer el desarrollo integral y sostenible del municipio.”
- c. El Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán 2011-2015 (PDM),

- Análisis FODA
  - Fortaleza 8, F.8, “Potencial en la artesanía y producción de tejidos, bordados, velas, güipiles...”,
  - Debilidad 1, D.1 “Los servicios de salud son insuficientes, la infraestructura no responde a cantidad de población, así como el personal y equipo.”
  - Debilidad 5, D.5 “La cobertura de los servicios básicos presenta déficit, sobre todo red de drenajes, servicios de agua.”
  - Debilidad 7, D.7 “Existen varios focos de contaminación específica, en los ríos por insumos agrícolas (pesticidas), desechos sólidos y líquidos.”
  - Amenaza 5, A.5 “No existe un manejo apropiado de la cuenca.”
  
- Descripción
  - El municipio “..cuenta con estrategias para el mantenimiento del saneamiento ambiental y la recuperación de fuentes hídricas vitales para el municipio”,
  - “Se cuenta con infraestructura para el tratamiento de desechos sólidos y líquido y una planta de tratamiento de aguas residuales del municipio. Así como la implementación de políticas de protección de los habitantes del municipio...”,

- “...existe una buena participación ciudadana, que permite hacer de Tecpán Guatemala un municipio con mejores niveles de vida, respetuoso de los derechos de sus pobladores, con instituciones accionando eficientemente”,
  
- Ejes de desarrollo
  - Social y reducción de la pobreza con equidad: ...”que las autoridades y los actores sociales vivos tienen en sus manos el reto de asumir con responsabilidad y visión de futuro, la posibilidad de reducir la pobreza, a través de planes estratégicos, desarrollo y ejecución de proyectos desde una óptica social y de servicio comunitario, mejorando los accesos a servicios básicos, los cuales implican competencias institucionales compartidas, tanto municipales, de la sociedad, del gobierno central y de la cooperación”,
  
  - Económico y ambiental: “...Por aparte, la explotación de los recursos naturales y el manejo inadecuado a las aguas servidas y desechos sólidos, deterioran de manera acelerada el medio ambiente, por lo que se encuentran en riesgo, los mantos acuíferos y las cuencas de los ríos, esto gran medida degenera la calidad de vida de los habitantes del municipio, por lo que es preciso contar con acciones y medidas preventivas que ayuden a la conservación y protección del medio ambiente.”,
  
  - Ecoturístico y manejo sostenible de los recursos naturales: “...A través de este eje de desarrollo se proponen acciones transformadoras que implican promover el cuidado de los activos

ambientales, mediante proyectos de saneamiento, protección de recursos naturales con valor eminentemente cultural y ambiental, e facilitarán espacios de diálogo y de convergencias para la coordinación de acciones que contribuyan al impulso de turismo y ecoturismo y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales. Con el establecimiento de programas de educación ambiental y participación social que fomenten la conciencia ecológica, se buscará la protección de fuentes de agua, establecer una estrategia de coordinación con organizaciones públicas y privadas entre ellas; Sector Privado;, cooperativas y Sector social para formular un plan estratégico sectorial Ministerio de Educación –MINEDUC-, Comité Nacional de Alfabetización –CONALFA-, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social –MSPYAS-, Universidades, Se requerirá que la Oficina Municipal de Planificación y la Oficina Forestal y Ambiental sean los entes responsables de abanderar el manejo de riesgo con enfoque preventivo y coordinar las acciones de reforestación cuenca Xayá Pixcayá...”.

- Objetivo General
  - “...problemática ambiental e institucional del municipio, estrategias para alcanzar la superación de los Objetivos del Milenio –ODM-; así como el manejo integral de los recursos hídricos ...”

- **Objetivos Específicos**
  - c.“...avanzar en el diálogo sobre las necesidades de ordenamiento territorial, gestión del riesgo y manejo integrado de recursos hídricos...”,
  - d. “...fortalecer las relaciones intermunicipales en la gestión de soluciones a problemas comunes en los niveles departamental y regional...”.
  
- **Objetivos Estratégicos**
  - 1.1 “Fortalecer los servicios esenciales en el municipio que garanticen la reducción de la pobreza,
  - 2.1 Consolidar políticas y programas para mejorar los ingresos económicos municipales y fortalecer la producción agropecuaria y agroindustrial para la dinamización de la economía local que posibilite la generación de empleos y la contribución para el mejoramiento del medio ambiente,
  - 3.1 Facilitar los espacios de diálogos y de convergencias para la coordinación de acciones que contribuyan al impulso de turismo y ecoturismo y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales”.



Tabla XXXIII. **Plan de Gestión de Aguas Residuales Municipales, Componente de Fortalecimiento Municipal y Asociativo, objetivo estratégico 1.1**

Objetivo Estratégico 1.1	Objetivo Operativo	Programa	Proyectos	Actividades	Indicadores	Fuentes de Verificación	Ubicación	Responsable
Fortalecer los servicios esenciales en el municipio que garanticen la reducción de la pobreza.	Fortalecer la planificación municipal, priorizando los servicios sociales urgentes en las áreas rurales.	Saneamiento ambiental	Construcción de nuevas redes y ampliación de drenajes.	Aumentar la cobertura de alcantarillado.	Garantizar al 2015 la sostenibilidad del medioambiente con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable de manera que la brecha municipal baje del 12.2 a 0.0.	Número de viviendas con conexión a alcantarillado.	Comunidades damnificadas por las tormentas Stan y Agatha	Consejo Municipal
				Fortalecer la gestión para el pretratamiento de efluentes.	La producción artesanal e industrial cuenta con sistema de tratamiento individual previo a la descarga puntual.	Censo municipal de plantas de tratamiento individuales en productores industriales y artesanales.	Municipio de Tecpán	Consejo Municipal
				Ajustar la estructura tarifaria de alcantarillado.	Contar con mayor fondo presupuestario en servicios básicos.	Medición en ingresos de finanzas públicas de la Municipalidad de Tecpán.	Municipio de Tecpán	Consejo Municipal
				Evaluar el pago directo de parte del demandante del agua producida, EMPAGUA, quien forma parte de la ACAX y ha manifestado su anuencia a considerar un incremento en el canon de agua que luego se trasladaría a la ACAX.	Obtener financiamiento de actividades de conservación en la microcuenca Xayá.	Acuerdo y verificación del cumplimiento del mismo entre EMPAGUA y ACAX.	Municipio de Tecpán	Mesa de Diálogo Municipal
				Creación de Fondo Municipal de Inversión en Descontaminación Hídrica (FMDH), que permita canalizar de manera eficiente los recursos recaudados por donaciones.	Plan para promover y gestionar el Fondo.	Reuniones para planificación del Fondo.  Acuerdo Municipal donde autorice el FMDH.	Municipio de Tecpán	Consejo Municipal

Fuente: elaboración propia, con base en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala, Chimaltenango 2011-2025.

**Tabla XXXIV. Plan de Gestión integral de aguas residuales municipales, Componente de Fortalecimiento Municipal y Asociativo, objetivo estratégico 2.1**

Objetivo Estratégico 2.1	Objetivo Operativo	Programa	Proyectos	Actividades	Indicadores	Fuentes de Verificación	Ubicación	Responsable
Consolidar políticas y programas para mejorar los ingresos económicos municipales y fortalecer la producción agropecuaria y agroindustrial, para la dinamización de la economía local que posibilite la generación de empleos y la contribución para el mejoramiento del medio ambiente	Impulsar y mejorar el bienestar social.	Solidaridad empresarial comunitaria tecnificada.	Desarrollo de planes de negocios y articulación de alianzas de cooperación con entidades públicas, ONGs y cooperación internacional.	Integración de una Mesa de Diálogo Interinstitucional reconocida, articulada y legitimada con entidades estatales (que velarán por el cumplimiento de leyes y normativos de su competencia), instituciones privadas (que velarán por la defensa de derechos a industrializar y comercializar), asociaciones o sociedades civiles (que velarán por la defensa de derechos de pobladores), sector académico (como ente asesor/ investigador), sector cooperante (en recurso humano y económico).	Para el 2015 tener el 50 % de los jóvenes y señoritas capacitados por y laborando para las cooperativas, asociaciones, entidades privas y el sector público.	Reuniones periódicas y documentadas de la Mesa de Diálogo Interinstitucional.  Participación multisectorial garantizada.	Cabecera municipal y aldeas del municipio de Tecpán Guatemala.	La figura rectora de la mencionada Mesa, deberá ser una unidad municipal específica.  Las reuniones deberán ser monitoreadas por un mediador.
	Impulso del desarrollo integral con énfasis en el área rural.		Fortalecimiento de la Oficina Municipal de Planificación para el eficiente funcionamiento.	Desarrollar programas de asistencia técnica y capacitación.	Reducir el porcentaje de la pobreza extrema y el hambre de personas en el municipio.	Capacitaciones organizadas con listados de asistencia, diploma y competencias de colaboradores de la Municipalidad de Tecpán.	Cabecera municipal y aldeas del municipio de Tecpán Guatemala.	Organizado por la Municipalidad de Tecpán, con apoyo de sector privado, ministerial y cooperación internacional.
	Crear estrategias para el mantenimiento del flujo migratorio y de la pobreza.	Empleos para la disminución del flujo migratorio y de la pobreza.	Disminución del deterioro ambiental causado por las actividades agrícolas e industriales.	Desarrollar programas de asistencia técnica y capacitación.	Facilitar el acceso a servicios de saneamiento mejorado e incorporación de políticas ambientales del desarrollo sostenible en acciones que revierten la pérdida de recursos del medio.	Número de participantes en capacitaciones.  Número de capacitaciones organizadas.	En el municipio de Tecpán Guatemala.	Organizado por la Municipalidad de Tecpán.
	Recuperación y mantenimiento de fuentes hídricas.	Recuperación y mantenimiento de fuentes hídricas.	Cuidado de fuentes, manantiales y ríos.	Coordinación con MAGA, MARN para formular proyectos de recuperación.		Proyecto de recuperación formulado y velar por el cumplimiento del mismo.	Lugar de ubicación de fuentes, manantiales y ríos.	Organizado por la Municipalidad de Tecpán.

Fuente: elaboración propia, con base en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala Chimaltenango 2011-2025.

**Tabla XXXV. Plan de Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales, Componente de Infraestructura, objetivo estratégico 2.1**

Objetivo Estratégico 2.1	Objetivo Operativo	Programa	Proyectos	Actividades	Indicadores	Fuentes de Verificación	Ubicación	Responsable
Consolidar políticas y programas para mejorar los ingresos económicos municipales y fortalecer la producción agropecuaria y agroindustrial, para la dinamización de la economía local que posibilite la generación de empleos y la contribución para el mejoramiento del medio ambiente.	Crear estrategias para el mantenimiento del saneamiento ambiental y la recuperación de fuentes hídricas vitales para el municipio.	Conservación y preservación de los recursos naturales; bosques, flora y fauna.	Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales.	Construir la planta de tratamiento de aguas residuales con el sistema propuesto en este estudio.	Facilitar el acceso a servicios de saneamiento mejorado e incorporación de políticas ambientales del desarrollo sostenible en acciones que revierten la pérdida de recursos del medio.	Planta de tratamiento construida y operando.	Área municipal	Consejo Municipal
			Tecnificación para la utilización de agroquímicos en la agricultura y el tratamiento de los desechos sólidos y líquidos.	Implementar el programa de tasas retributivas municipales de comercios, basado en el principio de "el que contamina paga".		Aumento de la contribución del sector empresarial/ industrial/comerciante que genera una descarga de tipo industrial previamente ubicada por la Municipalidad de Tecpán.	Áreas de producción	La implementación, facturación, cobro y recaudo de la tasa es competencia de la Municipalidad, y los recursos recaudados por este concepto deben destinarse exclusivamente a proyectos de inversión de descontaminación hídrica y monitoreo de la calidad de agua. La información de industrias conectadas a la red de alcantarillado será obtenida y recopilada por el municipio, con la colaboración de trabajadores de la Municipalidad y estudiantes.

Fuente: elaboración propia, con base en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala, Chimaltenango 2011-2025.

**Tabla XXXVI. Plan de Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales, Componente de Infraestructura, objetivo estratégico 3.1**

Objetivo Estratégico 3.1	Objetivo Operativo	Programa	Proyectos	Actividades	Indicadores	Fuentes de Verificación	Ubicación	Responsable
Facilitar los espacios de diálogos y de convergencias para la coordinación de acciones que contribuyan al impulso de turismo, ecoturismo y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales.	Se cuenta con infraestructura para el tratamiento de desechos sólidos y líquidos y una planta de tratamiento de aguas residuales.	Desechos sólidos y líquidos.	Instalación de planta de tratamiento de aguas residuales.	Promover alternativas del manejo de las aguas residuales que sean opciones técnicas, ambientales y financieras viables para las condiciones, considerando que no son únicamente aguas residuales domésticos, de tipo industrial, sino también tomar en cuenta las aguas grises de las 16 pilas públicas instaladas en el municipio.	Para el 2016 se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales para las aguas servidas del área.	Planta de tratamiento de aguas residuales municipales instalada.	Cabecera municipal de Tecpán Guatemala y comunidades de mayor población.	Municipalidad de Tecpán.
				Implementar un programa de optimización de la operación del sistema de tratamiento de las aguas residuales municipales.		Verificación del cumplimiento del Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.  Auditoría.		

Fuente: elaboración propia con base en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala, Chimaltenango 2011-2025.

**Tabla XXXVII. Plan de Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales, Componente de Gobernabilidad, objetivo estratégico 3.1**

Objetivo Estratégico 3.1	Objetivo Operativo	Programa	Proyectos	Actividades	Indicadores	Fuentes de Verificación	Ubicación	Responsable
Facilitar los espacios de diálogos y de convergencias para la coordinación de acciones, que contribuyan al impulso de turismo y ecoturismo y el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales.	Desarrollo y ejecución de programas y acciones para el manejo sostenible y sustentable de los recursos naturales.	Recursos naturales y saneamiento.	Reciclaje, uso y manejo adecuado de desechos sólidos y líquidos.	Fortalecimiento del trabajo con la comunidad.	El 75 % de la población en el 2013 cuenta con proyectos que fomentan la conciencia ecológica para la preservación de los recursos naturales y del medio ambiente, formación que inicia desde las escuelas.	Censo municipal con enfoque ecológico.  Instituciones educativas con inclusión en currícula del tema.	Cabecera municipal de Tecpán Guatemala y comunidades de mayor población.	Coordinado por la Municipalidad de Tecpán, apoyado por el Ministerio de Educación, Ministerio de Desarrollo Social y el MARN.
				Promover el uso de productos biodegradables y evitando el vertimiento de residuos no deseables.		Censo municipal con enfoque ecológico.  Inventario de productos utilizados.	Todo el municipio.	Coordinado por la Municipalidad de Tecpán, apoyado por el Instituto Nacional de Estadística y voluntarios.
				Informar los avances y situación a vecinos		Sistema de información del recurso hídrico residuales municipales.		Municipalidad de Tecpán.
				Crear y/o fortalecer la unidad de guardabosques para la protección de bosques, flora, fauna y cuencas del municipio y sus comunidades.		Desarrollar programas de asistencia técnica y capacitación.	La Municipalidad para el 2015 tiene fortalecida la alianza estratégica con el INAB, MAGA, MNFIN, CONAP Y MARN.	Convenio de Cooperación de Alianza Estratégica implementado.

Fuente: elaboración propia, con base en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala, Chimaltenango 2011-2025.

Tabla XXXVIII. **Gestión Integral de Aguas Residuales Municipales 2011  
– 2017**

Año	Actividades a realizar
2011	<p>Caracterizar el agua residual descargada por el municipio de Tecpán.                      Proponer una solución técnica para el tratamiento de aguas residuales.                      Evaluar el pago directo de parte del demandante del agua producida, EMPAGUA, quien forma parte de la ACAX y ha manifestado su anuencia a considerar un incremento en el canon de agua que luego se trasladaría a la ACAX.</p>
2012	<p>Evaluar el pago directo de parte del demandante del agua producida, EMPAGUA, quien forma parte de la ACAX y ha manifestado su anuencia a considerar un incremento en el canon de agua que luego se trasladaría a la ACAX.</p>
2013	<p>Reactivar el proceso del pago directo de parte del demandante del agua producida, EMPAGUA, quien forma parte de la ACAX y ha manifestado su anuencia a considerar un incremento en el canon de agua que luego se trasladaría a la ACAX.                      Integración de una Mesa de Diálogo Interinstitucional.</p>
2014	<p>Fortalecer la gestión para el pretratamiento de efluentes.                      Organizar reuniones trimestrales de la Mesa de Diálogo Interinstitucional.                      Crear el Fondo Municipal de Inversión en Descontaminación Hídrica.                      Desarrollar programas de asistencia técnica y capacitación a Municipalidad de Tecpán.                      Promover el uso de productos biodegradables y evitando el vertimiento de residuos no deseables.                      Desarrollar el sistema de información de los avances y situación a vecinos y cooperantes.</p>
2015	<p>Aumentar la cobertura de alcantarillado.                      Ajustar la estructura tarifaria de alcantarillado.                      Construir una planta de tratamiento de aguas residuales con el sistema propuesto en este estudio.                      Implementar un programa de optimización de la operación del sistema de tratamiento de las aguas residuales municipales.                      Implementar el sistema de información de los avances y situación a vecinos y cooperantes.                      Organizar reuniones semestrales de la Mesa de Diálogo Interinstitucional.                      Implementar programas de asistencia técnica y capacitación a Municipalidad de Tecpán.</p>
2016	<p>Organizar reuniones anuales de la Mesa de Diálogo Interinstitucional                      Evaluar la construcción de otras plantas de tratamiento de aguas residuales                      Evaluar el programa de optimización de la operación del sistema de tratamiento de las aguas residuales municipales.                      Implementar programas de asistencia técnica y capacitación continua a Municipalidad de Tecpán                      Evaluar el sistema de información de los avances y situación a vecinos y cooperantes</p>
2017	<p>Organizar reuniones anuales de la Mesa de Diálogo Interinstitucional.                      Implementar programas de asistencia técnica y capacitación continua a Municipalidad de Tecpán.                      Mejorar continuamente el programa de optimización de la operación del sistema de tratamiento de las aguas residuales municipales.                      Mejorar continuamente el sistema de información de los avances y situación a vecinos y cooperantes.                      Construcción de segunda planta de tratamiento de aguas residuales.</p>

Fuente: elaboración propia, con base en el Plan de Desarrollo Municipal de Tecpán Guatemala, Chimaltenango 2011-2025, tablas 12-16.

## **5.5. Marco conceptual**

La gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales es parte de la gestión ambiental municipal, por lo tanto se define para el propósito de esta propuesta como “La identificación y aplicación de estrategias y acciones para el manejo de todos los componentes generadores de una problemática específica de contaminación hídrica, con la cual se desea prevenir, mitigar y controlar los efectos negativos para el ambiente y la salud humana”<sup>16</sup>.

Las estrategias descritas en el Plan son lineamientos generales a seguir en ramas específicas y deberán funcionar como una guía con aplicación pertinente y capacidad de versatilidad y adaptabilidad de ser necesario.

### **5.5.1. Componentes**

- Monitoreo, evaluación y control

Para la implementación del sistema de tratamiento propuesto, se necesita monitoreo, evaluación y control antes, durante y después de la ejecución del mismo.

En la fase previa, se refiere a establecer el diagnóstico, antecedentes, oferta, demanda, tamaño, localización, tecnología, presupuesto, financiamiento, actividades de cierre, entre otros. En la fase de ejecución, se refiere a disponer de recurso humano capacitado y especializado para corroborar el cumplimiento de normas y requerimientos técnicos en la construcción y puesta en marcha de

---

<sup>16</sup> *Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales de Colombia*, 2010.

la planta de tratamiento. En la fase posejecución, integra mediciones periódicas de parámetros, análisis de las mismas, reparaciones y evaluaciones de funcionamiento de equipo.

La corrupción o malversación del fondos será inaceptable, puesto que al gestionar los recursos económicos, serán otorgados dada la importancia, los beneficios para la salud, el desarrollo de comunidad indígena, preservación del ambiente. Las autoridades designadas deberán de invertir acertadamente e informar periódicamente los gastos a los vecinos y cooperantes, permitiendo las intervenciones de auditoría interna y externa, permitir acceso a la información de carácter público.

- Operación, administración y mantenimiento
  - Operación: dentro de este concepto deberán considerarse todos los costos relacionados con el proceso productivo directo en la prestación del servicio: mano de obra calificada y no calificada, insumos, materiales, energía eléctrica y otros servicios conexos.
  - Administración: los costos de administración que se vinculan a las actividades que conllevan la correcta organización de los recursos: salarios administrativos, papelería, servicios públicos, de comunicación, depreciaciones, seguros, información sobre la entidad responsable (indicar posición dentro del sector público), desarrollar estatutos orgánicos, principales funciones, indicar el tipo de personal administrativo y operativo, describir la estructura organizativa y la función para cada puesto de trabajo.



- Mantenimiento: una vez iniciada la operación se inicia el proceso de desgaste de las instalaciones, los equipos empiezan a depreciarse y muchos accesorios empiezan a desgastarse producto del uso, es por eso que se deben realizar o hacer las respectivas proyecciones para garantizar la vida útil. Lo anterior generará costos periódicos que deberán ser calculados.

La falta de acceso a servicios de agua potable y alcantarillado, unido a bajos niveles económicos y falta de educación e higiene, conforman un cuadro de alto riesgo para la salud de la población, especialmente para la infantil. La poca disponibilidad de agua potable, la contaminación con residuos fecales, están asociados con enfermedades diarreicas, hepatitis A, tifoidea, cólera, y shigellosis, entre otras. De acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal 2011-2025, la segunda causa de morbilidad son las diarreas, 2 411 casos desde del 2008 al 2010. También indica que entre las principales causas de consulta médica son las enfermedades referidas al aparato digestivo y enfermedades parasitarias.

## **5.6. Presupuesto estimado**

El cálculo general de presupuesto estimado para un manejo integral de las aguas residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango se presenta a continuación:

Tabla XXXIX. **Cálculo de presupuesto estimado**

No.	Programa	Proyecto	Monto estimado, Q
1	Saneamiento ambiental	Construcción de nuevas redes y ampliación de servicios de drenajes.	1 200 000,00
2	Solidaridad empresarial comunitaria tecnificada	Desarrollo de planes de negocios y articulación de alianzas de cooperación con entidades públicas, ONGs y cooperación internacional.	340 000,00
3		Fortalecimiento de la Oficina Municipal de Planificación para el eficiente funcionamiento.	85 000,00
4	Empleos para la disminución del flujo migratorio y de la pobreza	Disminución del deterioro ambiental causado por las actividades agrícolas e industriales.	120 000,00
5	Recuperación y mantenimiento de fuentes hídricas	Cuidado de fuentes, manantiales y ríos.	190 000,00
6	Conservación y preservación de los recursos naturales; bosques, flora y fauna	Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales.	3 000 000,00
7		Tecnificación para la utilización de agroquímicos en la agricultura y el tratamiento de los desechos sólidos y líquidos.	230 000,00
8	Desechos sólidos y líquidos	Instalación de planta de tratamiento de aguas residuales.	650 000,00
9	Recursos naturales y saneamiento	Reciclaje, uso y manejo adecuado de desechos sólidos y líquidos.	650 000,00
10		Crear y/o fortalecer la unidad de guardabosques para la protección de bosques, flora, fauna y cuencas del municipio y sus comunidades.	450 000,00
TOTAL			6 915 000,00

Fuente: elaboración propia, con base en tablas XIV a la XVIII.

El monto estimado aproximado para ejecutar los proyectos en el Plan Integral propuesto es de Q6 915 000,00 (representa el 50,48 % del aporte gubernamental en el 2009). El aporte del Gobierno Central a la Municipalidad de Tecpán en 2009 fue de Q13 698 096,73<sup>17</sup> (que corresponde al último valor publicado).

### 5.6.1. Análisis presupuestario

Si se considera que:

- a) El aporte del Gobierno Central varía cada año y es posible que este haya aumentado hasta la fecha,
- b) Las fuentes de financiamiento (crediticio o no crediticio) como el Banco Mundial tienen por objetivos institucionales, proporcionar financiamiento para una gran variedad de proyectos destinados a crear la infraestructura física y social necesaria para reducir la pobreza y lograr el desarrollo sostenible,
- c) Es viable potenciar el actual apoyo de Organizaciones No Gubernamentales como la Asociación de Ayuda de Niños KATORI-AKWALA, Fundación Ulwe, Comité de Autogestión Turística, Cuatro Mazorcas KAJIH JEL; Mancomunidad Kaqchikel que aporta en la construcción de una mejor calidad de vida para los vecinos; que prestan servicios de salud e implementan proyectos productivos en beneficio de

---

<sup>17</sup>Ministerio de Finanzas Públicas. Portal SIAFMUNI. *Aporte del Gobierno a Municipalidades, Ejercicios 2008-2009.*

[http://siafmuni.minfin.gob.gt/siafmuni/APORTES\\_MUNICIPALESnew.aspx?pResolucion=1600](http://siafmuni.minfin.gob.gt/siafmuni/APORTES_MUNICIPALESnew.aspx?pResolucion=1600).  
Consulta: 04 de mayo de 2014.

la población, incluyendo jóvenes mujeres con presencia en actividades económicas, políticas, sociales y culturales del municipio,

- d) Que los usuarios (vecinos de Tecpán) aportarán a través del pago del servicio de alcantarillado y puede concebirse como ingreso parcial para el proyecto autosostenible,
- e) Que los usuarios (vecinos beneficiados de Guatemala) aportarán a través de pago por servicios ambientales (conservación de la cuenca); es viable económicamente que la Municipalidad de Tecpán, en coordinación con cooperación comunitaria, local, nacional e internacional, cubra el presupuesto estimado.

## CONCLUSIONES

1. La hipótesis propuesta no se cumple para los resultados obtenidos de la caracterización de 4 puntos de muestreo que incluye dos descargas desde Tecpán hacia el río Xayá.
2. Los parámetros que exceden los límites permisibles por el AG 236-2006 son: turbiedad, sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub> coliformes fecales, potencial de hidrógeno y el color; indicando la presencia de aguas residuales de tipo industrial. El punto 2 o primera descarga presentó las condiciones más críticas, excepto por el valor promedio de DBO<sub>5</sub> que es mayor en la segunda descarga o punto 3. En el punto 4 o molinos Helvetia se restablecen los parámetros.
3. En el punto 4 o molinos Helvetia, en promedio los valores que aumentaron son: color, turbiedad, potencial de hidrógeno, sólidos sedimentables y nitratos. Los resultados promedio que tuvieron comportamiento similar son: la conductividad eléctrica, sólidos suspendidos, fósforo y DBO<sub>5</sub>. Los valores con promedio que descendieron son: sólidos disueltos totales, y fosfatos. La carga contaminante calculada en ambos puntos indica un descenso en el resultado del punto 4, lo que sugiere autodepuración del río.
4. De acuerdo a la comparación con los resultados obtenidos por EMPAGUA, los parámetros que en promedio han aumentado considerablemente son: color, turbiedad, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, DQO, DBO<sub>5</sub>, fosfatos y coliformes fecales. En el punto de

muestreo ubicado en molinos Helvetia, el valor de todos los parámetros presenta pequeñas variaciones entre los estudios realizados por EMPAGUA del 2006 al 2010 y los realizados en el 2011.

5. Con base en los resultados obtenidos y análisis realizado, se propone que las aguas residuales descargadas por el municipio de Tecpán cuenten con un tratamiento biológico con pretratamiento, lagunas de estabilización facultativas y sedimentación secundaria. La propuesta es factible si se mantienen estables los valores actuales.
  
6. Para enfrentar retos actuales y futuros, resolución del problema planteado, se propone integrar visiones, actores y sectores, usos, aprovechamientos y obligaciones por medio de soluciones cooperativas con cohesión social y legitimidad política. La propuesta de tratamiento es una alternativa técnico-científico que responde a solucionar un problema. Sin embargo, una solución completa que prospere con los resultados deseados, sugiere el fortalecimiento político-institucional-democrático, desarrollo socioeconómico e integración social como una combinación coyuntural presentados en el Plan Integral de Gestión de Aguas Residuales del municipio de Tecpán, departamento de Chimaltenango.

## RECOMENDACIONES

1. Estructurar, revisar y actualizar políticas a partir de experiencias anteriores (cuenca del río Naranjo) para adaptar y adoptar a la microcuenca Xayá en cuanto a un sistema integral. No como un sistema de depuración de aguas residuales únicamente como tema aislado apegándose a las leyes, reglamentos, acuerdos municipales y nacionales, sino también al contexto cultural, social, político, religioso y económico.
2. Utilizar un Método de Valoración Contingente que involucra encuestas con preguntas directas de cuánto están dispuestos a pagar el servicio ambientales (agua), en el contexto que se abarca en este estudio que permite conocer la capacidad económica y la percepción real que tienen los usuarios del servicio ambiental (agua) y su importancia. Además incide en agregarle importancia o hacer de pleno conocimiento que el agua es un servicio que tiene un valor que se integra por hacerle entender a la gente la calidad de vida que le genera. Este método requiere de recurso humano capacitado y económico para ser que las encuestas sean construidas, validadas e implementadas eficientemente. Existen además, otros métodos de valoración que pueden ser adecuados y adaptados por expertos.
3. Promover la sensibilización social en el tema agua y otros servicios ambientales. Tener en cuenta que la educación ambiental, tanto formal como informal, es un eje importante para el éxito de un proceso.

4. Incentivar a las industrias a cumplir con el Reglamento de Aguas Residuales vigente y llegar a los niveles superiores determinados en el mismo; así como reconocer los esfuerzos de las industrias para proteger el recurso hídrico.
5. Fortalecer la rectoría de recursos hídricos a nivel municipal, institucionalizando el manejo adecuado del agua y saneamiento ambiental.
6. Investigar e innovar en cuanto al tratamiento de aguas residuales específicos para el municipio de Tecpán. Existen estudios de nuevas tecnologías que podrían ser aplicadas como el proceso de Biorreactor de Membrana (BRM) que involucra dos procesos en uno: el reactor biológico y la separación de sólidos mediante membranas de microfiltración o ultrafiltración, especialmente con efluentes de difícil tratamiento como los textiles. (Salazar 2009) o el Proceso de Oxidación Avanzada (AOPS, por sus siglas en inglés) que genera y una radicales hidroxilo libres como agente oxidante potente y es un poderoso componente para tratar aguas residuales. (Al-Kdasi, 2006)
7. Continuar con la caracterización mediante la toma de muestras compuestas, ubicar más puntos de muestreo, realizar análisis de metales pesados y lo que sea pertinente para darle continuidad al estudio.
8. Socializar y divulgar los resultados de este estudio para sensibilizar a la población e incentivar a cumplir con la responsabilidad civil (individual o colectiva) a cumplir con las estipulaciones legales y contribuir al mejoramiento ambiental.



9. Ejecutar el Plan Integral propuesto con participación multisectorial, permitiendo la evaluación y mejoramiento continuo.



## BIBLIOGRAFÍA

### Legislación

1. Guatemala. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006. Reglamento de las Descargas y Reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. *Diario de Centroamérica*. 5 de mayo de 2006.
2. Guatemala. Constitución Política de la República de Guatemala. *Diario de Centroamérica*. 3 de julio de 1985.
3. Guatemala. Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural. *Diario de Centroamérica*. 3 de julio de 1985.
4. Guatemala. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. *Diario de Centroamérica*. 5 de diciembre de 1986.
5. Guatemala. Reglamento del Servicio de Alcantarillado Público y Drenajes Domiciliarios, Tecpán Guatemala, Chimaltenango. Acta Número 85-2010 Punto Cuarto. *Diario de Centroamérica*. 27 de septiembre de 2010.

### Libros

1. AL-KDASI, IDRIS, SAED, y TEONG-GUAN. *Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes*. Malasia:Global Nest, 2005.
2. BABCOCK, Russel. *Instrumentación y Control en el Tratamiento de Agua Potable, Industrial y de Desecho*. México-Argentina: Editorial Limusa Wiley, 1971.
3. HERNANDEZ, Aurelio ., HERNANDEZ, Aurelio., GALÁN, Pedro. *Manual de Depuración Uralita. Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20000 habitantes*. Madrid: Paraninfo, S. A., 1995.

4. KNEESE, Allen; SCHULTZE, Charles. *Costo de la Contaminación*. Argentina:Ediciones Marymar, 1975.
5. METCALF & EDDY. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. México: Mc Graw Hill, 1996.
6. PERRY, Robert., GREEN W. *Manual del Ingeniero Químico*. Séptima Edición. Editorial McGraw Hill. México/Buenos Aires:Limusa Wiley, 1971.
7. ROMERO, Jairo. *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y principios de diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.
8. VALLADARES, Luis, GUZMÁN, Nicolás CASTAÑEDA, César. *Territorio y Región. Agua, Drenajes y Recursos Naturales en Guatemala. Guatemala*. CEUR/USAC, 2011.
9. WEBER, Walter J. *Control de Calidad del Agua*. Procesos Físicoquímicos. España:Reverté, S. A., 1987.

#### Manuales

1. USAC, Facultad de Ingeniería, ERIS, laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, Manual de Prácticas de Laboratorio, Microbiología del Agua.
2. USAC, Facultad de Ingeniería, ERIS, laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, Manual de Prácticas de Laboratorio, Química del Agua.

#### Tesis Publicadas

1. AVENDAÑO, Norma. *evaluación del USP de lecho filtrante de carbón vegetal y activado para el tratamiento de efluente líquido textil*. Guatemala, 2010.

2. PINZÓN, Erick. *Propuesta técnica a escala piloto para la remoción de color de origen textil por medio de electrocoagulación para favorecer el proceso de potabilización de agua en una planta de tratamiento de aguas*. Guatemala, 2010.
3. WONG, Carlos. *Reducción de la demanda química de oxígeno y determinación de la cinética de reacción por medio de fotocátalisis solar*. Guatemala, 1995.

### Informes

1. Banco Interamericano de Desarrollo. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República de Guatemala. *Estrategia para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de Guatemala*. Noviembre, 2006.
2. CIPREDA, BID. *Plan de Manejo. Subcuenca de los ríos Xayá Pixcayá*. Documento Síntesis. MAGA, 2001. Guatemala.
3. Comisión Nacional del Agua; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) (1994). *Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento*. Libro II. Proyecto 3ª sección: potabilización y tratamiento. Tema: tratamiento. Subtema: lagunas de estabilización. IMTA, México.
4. Conferencia Mundial sobre la Reducción de Desastres. *Marco de Acción de Hyogo para el 2002-2015. Aumento de la resiliencia para las naciones y la comunidad ante los desastres*.
5. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Tecpán Guatemala y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial. *Plan de Desarrollo Tecpán Guatemala, Chimaltenango*. Guatemala, 2010.
6. Lux, O. *Gobernabilidad y Pueblos Indígenas*. FLACSO-Secretaría General, 2010.

7. Instituto Nacional de Estadística. *Estadísticas Ambientales: Agua*. Noviembre, Guatemala. 2010.
8. Laboratorio Nacional de Salud. Dirección de Regulación, Vigilancia y Control de Salud. *Informe de Análisis de Muestras de Aguas Residuales y Lodos. Proyecto para el Desarrollo de Capacidades para la Conservación del Ambiente Acuático en el Área Metropolitana y Departamental*. Guatemala. 2009.
9. López, F. Microcuenca del Río Xayá, Tecpán Guatemala. *Reconocimiento económico al servicio ambiental hídrico como una alternativa para la conservación y restauración de la biodiversidad natural, mediante la protección de bosques naturales productores de agua para la ciudad de Guatemala*. Guatemala Programa Piloto de Apoyos Forestales Directos (PPAFD/PARPA), con el apoyo de FAO-Facility. 2006.
10. Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial, Departamento Nacional de Planeación, Colombia. *Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales en Colombia*. Colombia, 2004.
11. Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. *Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición Final de las Aguas Residuales Municipales. Guía*. Colombia, 2002.
12. Naciones Unidas. *Objetivos del Milenio*. Cumbre del Milenio, 2010 Proyecto MIMEDE. *Modelo de Incentivos para Mejorar el Desempeño en el Manejo Integrado de las Aguas Residuales de Tipo Especial en el Área Metropolitana*. Guatemala. 2009. Proyecto para el Desarrollo de Capacidades para la Conservación del Medio Ambiente Acuático en el Área Metropolitana. Ministerio de Ambiente y Recursos naturales y Agencia de Cooperación Internacional de Japón.

13. Programa de Apoyo a la reconversión productiva agroalimentaria PARPA. *Plan de Acción para la gestión del reconocimiento económico al servicio ambiental hídrico*. Comité de la Microcuenca del Río Xayá. (2008). Guatemala.
14. Revilla, M., Suárez, I. *Hacia una mayor eficacia de la Cooperación Internacional para la Gobernabilidad y la Convivencia Democrática en América Latina*. Programa de Gobernabilidad la Convivencia Democrática en América Latina. FLACSO-Secretaría General., 2010.
15. UEEDICH-MAGA. *Unidad Especial de Ejecución de Desarrollo Integral en Cuencas Hidrográficas*. (2006). Guatemala.

#### Publicación Seriada

1. *Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment non-biodegradable textile effluent*. Ghoreischiand, R. *Chemical Engineering Journal*. 2001. Vol. 95, pp.163- 169.
2. *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Guatemala. Estrategia para la Construcción del Marco Organizativo Institucional del Manejo del Agua en la Parte Alta de la Cuenca del Río Naranjo, Guatemala, Centroamérica*. Gil, Joram. Guatemala: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Serie Cuadernos UNESCO Guatemala. Número 5, 2010.
3. *Performance of membrane bioreactors used for the treatment of wastewater from the chemical and textile industries*. Baumngarten, S. Schöder, H., Pinnekamp, J. 2006 *Wat. Sci.& Technol*, Vol. 53, N° 9, pp. 61-67.
4. *Treatment of textile waste water by membrane bioreactor* . Salazar, L., Crespi, M., Salazar, Roberto. 2009. *Ingeniería y Desarrollo* 26, ISSN: 0122-3462.

## Normas

1. Environmental Protection Agency. *Waste Water Collection, Treatment and Storage*. USA: EPA. 1999
2. Organización Internacional de Normalización. *Normas ISO 690*. Referencias Bibliográficas. Suiza, 1997.

## Documentos Electrónicos

1. Asociación Nacional de Municipalidades de la República de Guatemala, ANAM. Municipalidad de Tecpán Guatemala. Obtenido en mayo 2015 desde <http://www.anam.org.gt/LAIP/tecpan/>
2. Centro de Investigaciones de Arquitectura 2011. *Prototipo de Vivienda en Chimaltenango*. Obtenido en abril 2014 desde <http://digi.usac.edu.gt/cifa/AtlasMaya/ciudad.php?id=5&ap=1>.
3. Dollar Based Ecosystem Valuation Methods. *Contingent Valuation Method*. Obtenido en mayo 2012 desde [http://www.ecosystemvaluation.org/dollar\\_based.htm](http://www.ecosystemvaluation.org/dollar_based.htm)
4. Fundación Solar. *Diagnósticos Socioeconómicos y Ambientales de los Municipios, Legales, Administrativos, Financieros y de Servicios Públicos de las Municipalidades*. Obtenido en mayo de 2011 desde [www.fundacionsolar.org.gt](http://www.fundacionsolar.org.gt).
5. Global Water Partnership Centroamérica, Unión Europea, Programa de Desarrollo de Zonas Fronterizas en América Central, Banco Centroamericano de Integración Económica. *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica*. Obtenido en septiembre 2013 desde [http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM\\_Files/SituaciondelosRecursosHidricos.pdf](http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/SituaciondelosRecursosHidricos.pdf)



6. Ministerio de Finanzas Públicas. Portal SIAFMUNI. *Aporte del Gobierno a Municipalidades, Ejercicios 2008-2009*, obtenido en mayo de 2014 desde [http://siafmuni.minfin.gob.gt/siafmuni/APORTES\\_MUNICIPALESnew.aspx?pResolucion=1600](http://siafmuni.minfin.gob.gt/siafmuni/APORTES_MUNICIPALESnew.aspx?pResolucion=1600)
7. Municipalidad de Tecpán Guatemala. *Servicio de Información Municipal*. Obtenido en mayo de 2011 desde <http://www.inforpressca.com/tecpan/>
8. Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *¿Por qué invertir en ordenación de las Cuencas Hidrográficas?* Roma, 2009. Obtenido en septiembre de 2013 desde: <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s00.htm>
9. Unidad Especial de Ejecución Desarrollo Integral de Cuencas Hidrográficas, UEEDICH. Obtenido en septiembre de 2010, desde [http://portal.maga.gob.gt/portal/page/portal/uee\\_cuencas/documentos](http://portal.maga.gob.gt/portal/page/portal/uee_cuencas/documentos)



## ANEXOS

Cuadro 1.5  
Guatemala: extracción de agua en la ciudad de Guatemala  
2000 - 2009  
(volumen anual en metros cúbicos)

Año	Planta de tratamiento	Ríos Xayá y Pixcayá (Acueducto nacional)	Ríos La Brigada, Yumar, Pansalic (Presa la Brigada)	Embalse del Teocinte: Río San Antonio, Las Pilas y La Manguita, Nacimiento de Agua Viva. Estación de bombeo Canalitos (Pozo), Río Acatán (Presa)	Río Pinula (Presa Pinula y Estación de bombeo Hincapié)	Ríos los Ocotes, Bijague, Canalitos y Teocinte Chico (Estación de bombeo Atlántico)	Volumen total anual de las plantas de tratamiento
2000	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	41,209,993	2,225,603	10,300,802	5,016,114	6,369,502	65,122,014
2001	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	37,864,356	2,324,904	8,776,342	4,092,781	6,230,677	59,289,060
2002	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	35,942,591	2,040,515	6,967,198	3,718,973	7,088,849	55,758,126
2003	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	34,212,509	2,061,379	7,854,183	4,009,047	6,840,403	54,977,521
2004	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	34,058,005	2,047,913	8,537,172	3,787,814	6,230,156	54,661,060
2005	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	37,495,964	2,139,137	7,762,612	4,131,378	6,242,363	57,771,454
2006	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	43,317,998	<sup>a</sup>	8,810,686	5,020,966	6,544,285	63,693,935
2007	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	43,318,164	<sup>a</sup>	8,811,094	5,021,518	6,544,301	63,695,077
2008	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	38,631,600	630,720	8,830,080	3,942,000	7,000,992	59,035,392
2009	Lo De Coy Brigada Santa Luisa Cambray Ilusiones	43,226,090	175,088	8,796,252	4,459,682	6,144,462	62,801,574

Fuente: Municipalidad de Guatemala, EMPAGUA.

<sup>a</sup> Fuera de servicio por mala calidad de agua.

En el año 2009 el acueducto Xayá Pixcayá ofertó el 68.8% a los hogares de la ciudad de Guatemala.

Fuente: INE, 2002

**Artículo 24. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE DESCARGAS A CUERPOS RECEPTORES PARA AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y DE URBANIZACIONES NO CONECTADAS AL ALCANTARILLADO PÚBLICO.**

Las municipalidades o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público y las urbanizaciones existentes no conectadas al alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores, de cualesquiera de las formas siguientes:

- a) Con lo preceptuado en los artículos 17, 18, 19 y 20, de conformidad con los plazos establecidos en estos artículos del presente Reglamento.