



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES  
VERTIDAS EN EL LAGO DE AMATITLÁN Y SU CUENCA**

**Rafael de Jesús López Pérez**

Asesorado por el Ing. Julio Gilberto Alonzo Escobar

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES  
VERTIDAS EN EL LAGO DE AMATITLÁN Y SU CUENCA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**RAFAEL DE JESÚS LÓPEZ PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. JULIO GILBERTO ALONZO ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

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. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Julio Gilberto Alonzo Escobar
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford de Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES VERTIDAS EN EL LAGO DE AMATITLÁN Y SU CUENCA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 01 de agosto de 2011.



**Rafael de Jesús López Pérez**

Guatemala 21 de junio de 2013

**Ingeniero**

**Cesar Ernesto Urquizú Rodas**

**Director de Escuela**

**Ingeniería Mecánica Industrial**

**Facultad de Ingeniería**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Ingeniero Urquizú Rodas:

Hago llegar a usted el informe final revisado de la asesoría de la tesis titulada: **“TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES VERTIDAS EN EL LAGO DE AMATITLAN Y SU CUENCA”** Previo a optar al grado de Ingeniero Industrial en grado de Licenciatura, del alumno Rafael de Jesús López Pérez con número de carné 1998-12007.

Luego de un análisis exhaustivo, riguroso, revisión de estilo y ortografía al que fue sometido el trabajo de investigación registrado, en el párrafo anterior, hacer además las correcciones pertinentes; **DOY MI APROBACION TOTAL** para continuar con los trámites respectivos, ordenar la impresión del trabajo, para posteriormente presentarse a su acto de graduación que le acredite como tal.

Cordialmente,

**JULIO GILBERTO ALONZO ESCOBAR**  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO No. 7,971

**Júlio Gilberto Alonzo Escobar**

**Colegiado Activo 7971**



REF.REV.EMI.132-013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES VERTIDAS EN EL LAGO DE AMATITLÁN Y SU CUENCA**, presentado por el estudiante universitario **Rafael de Jesús López Pérez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Ing. Danilo González Trejo*  
INGENIERO INDUSTRIAL  
COLEGIADO ACTIVO 6182

Ing. Erwin Danilo González Trejo  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, agosto de 2013.

/mgp






REF.DIR.EMI.219.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES VERTIDAS EN EL LAGO DE AMATITLAN Y SU CUENCA**, presentado por el estudiante universitario **Rafael de Jesús López Pérez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquiza Rodas  
**DIRECTOR**  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2013.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

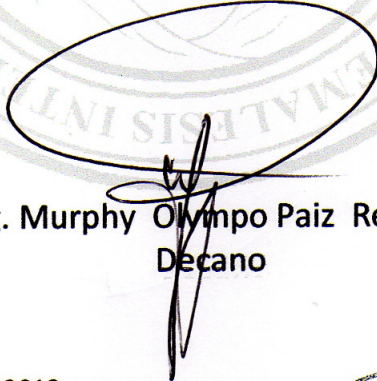


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 582.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES VERTIDAS EN EL LAGO DE AMATITLÁN Y SU CUENCA**, presentado por el estudiante universitario **Rafael de Jesús López Pérez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 22 de agosto de 2013

/gdech





## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por todas sus bendiciones, por hacerme un ser humano de bien, y darme siempre las herramientas adecuadas para desempeñarme con éxito en todas las encrucijadas de la vida, por hacer que las expectativas esperadas en mi persona sean siempre superadas con éxito
- Virgen María** Por su amor, su bondad, su tolerancia, sus regaños, y por darle dirección a mi vida.
- Mis padres** Por haberme dado un hogar, enseñándome a ir tras de los ideales, por nunca reprimirme, confiar en mí, hacerme tan importante en sus vidas y sobre todo, por la educación que con tanto amor me brindaron.
- Mi hija** Por darle sentido a mi vida, ser mi todo y ayudarme a ser una persona mejor cada día.
- Mi esposa** Blanca Istar Cuéllar Alejandro, por el apoyo incondicional, y el haber creído en mí siempre y estar a mi lado en las buenas y en las malas por más de 14 años.

**Mis hermanos**

Heidi, Antonio y Cinthia López Pérez, por tanto amor y comprensión, y por estar ahí a mi lado en las buenas y en las malas.

**Mi tío**

Lic. César Ronualdo Monterroso, por su apoyo incondicional y ser mi padrino de graduación.

**Mis abuelos**

Paternos y maternos, por su amor incondicional, en especial a mi mamá Haydeé, por sus cuidados.

**Mi familia**

Tíos y tías, primos, sobrinos, por ser tan unidos y habernos apoyado siempre.

**Mis suegros**

Leonor Alejandro y Ricardo Cuellar por su apoyo incondicional.

**Mis amigos**

Joel del Cid, Eduardo García, Jorge Turcios y todos los demás, por haberme brindado su amistad.

**Mi universidad**

Por haberme brindado los conocimientos necesarios para ser una persona educada, disciplinada, responsable y capaz de desempeñar cualquier actividad que me sea asignada en mi vida profesional.



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por darme la sabiduría para afrontar cada día de mi vida, por tantas bendiciones y enseñanzas a lo largo de mi vida, por ser tan bueno conmigo y permitirme culminar este proceso que me acredita como Ingeniero Industrial.

### **Virgen María**

Por ser mi ángel de la guarda y ser esa luz que ha iluminado siempre mi camino, por demostrarme que yo sí puedo y por darme esa actitud positiva que es mi motor en mi diario vivir.

### **Mi hija**

Dulce María López Cuéllar, por darle sentido a mi vida, por ser mi todo, creer y confiar en mí y ante todo, por amarme incondicionalmente.  
Te amo hija mía.

### **Mi padre**

Rafael Antonio López Morales, por ser ese padre maravilloso, por su apoyo y porque jamás dejó de creer en mí, y ser más que un padre, mi amigo y por haber entregado su vida a sus hijos con trabajo y dedicación, el haber preferido una vida mejor para su familia sobre la de él.

**Mi madre**

Silda Oralia Pérez Pivaral, por haberle dado luz a mi vida y permitirme la vida, brindándome en todo momento sus enseñanzas y dedicaciones, y por estar siempre ahí incondicionalmente y por todo su apoyo y amor para mi persona.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO .....	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN .....	XIII
1. EL LAGO DE AMATITLÁN Y SU CUENCA.....	1
1.1. Monografía de Amatitlán.....	1
1.1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.1.2. Costumbres y tradiciones .....	4
1.2. El lago de Amatitlán.....	4
1.2.1. Flora .....	7
1.2.2. Fauna .....	7
1.3. La cuenca del lago de Amatitlán.....	9
1.3.1. División política.....	9
1.3.2. Hidrología .....	10
1.3.2.1. Río Villalobos.....	11
1.4. Autoridades para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA) .....	12
1.4.1. Visión .....	12
1.4.2. Misión .....	13
1.5. Agentes contaminantes .....	14

2.	SITUACIÓN ACTUAL .....	21
2.1.	Utilización del lago de Amatitlán .....	21
2.2.	Tipo y composición de desechos que llegan al lago de Amatitlán .....	22
2.3.	Desagües .....	23
2.4.	Contaminación .....	24
2.4.1.	Contaminación industrial .....	24
2.4.1.1.	Contaminación con agentes sólidos .....	26
2.4.1.2.	Contaminación con agentes líquidos .....	27
2.4.2.	Contaminación de origen doméstico por parte de los vecinos del lago de Amatitlán y su cuenca .....	29
3.	PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS DE AGUAS.....	31
3.1.	Tipos de industrias en la cuenca del lago .....	31
3.2.	Empresas a analizar.....	36
3.3.	Tipos de análisis aplicables al muestreo de aguas residuales.....	38
3.4.	Análisis de aguas industriales residuales vertidas en el lago de Amatitlán y su cuenca .....	40
3.4.1.	Tratamiento adecuado para los contaminantes encontrados .....	41
3.5.	Toma de decisiones .....	45
3.6.	Plantas de tratamientos de agua.....	46

3.6.1.	Tipos .....	46
3.6.2.	Propuesta para la implementación de una planta de tratamiento de aguas en la industria dentro de muestreo que lo requiera .....	51
3.6.3.	Evaluación financiera para la implementación de la planta .....	58
3.6.3.1.	Valor Actual Neto (VAN) .....	60
3.6.3.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	61
3.6.3.3.	Relación beneficio costo (B/C).....	62
3.6.3.4.	Costos asociados .....	63
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	67
4.1.	Diseño de la planta de tratamiento .....	67
4.2.	Localización de la mejor ubicación para la implementación .....	78
4.3.	Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas .....	81
5.	SEGUIMIENTO O MEJORA CONTINUA.....	85
5.1.	Indicadores de contaminación en las aguas que se vierten al río Villalobos .....	85
5.2.	Evaluación de la aplicabilidad de las leyes ambientales en el país .....	87
5.3.	Control periódico de las industrias en cuanto a la calidad del agua que se vierte al lago de Amatitlán y su cuenca.....	95
	CONCLUSIONES.....	103
	RECOMENDACIONES .....	105
	BIBLIOGRAFÍA .....	107



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Lago de Amatitlán .....	6
2.	Agentes sólidos .....	16
3.	Agentes contaminantes líquidos.....	16
4.	Agentes tóxicos .....	17
5.	Agentes corrosivos .....	17
6.	Agentes orgánicos.....	18
7.	Agentes inorgánicos.....	18
8.	Desagües .....	19
9.	Desagües .....	23
10.	Desagües y basura .....	24
11.	Diagrama aerobio .....	48
12.	Diagrama anaerobio .....	49
13.	Diagrama de procesos de floculación o coagulación en la industria textil.....	54
14.	Planta de tratamiento de agua por floculación .....	58
15.	Etapas de la planta de tratamiento La Cerra .....	70
16.	Pozo de bombeo en planta de tratamiento La Cerra, Villa Canales .....	71
17.	Río Villalobos es el principal contaminante del lago de Amatitlán, arrastra desechos de la población y la industria.....	72
18.	La planta de tratamiento La Cerra ubicada en el departamento de Guatemala, municipio de Villa Canales.....	80



## TABLAS

I.	Área en kilómetros cuadrados de los municipios dentro de la cuenca .....	10
II.	Tasa de descuento basada en el interés pasiva .....	61
III.	Tasa Interna de Retorno .....	62
IV.	Evaluación de factores.....	64
V.	Resultados del análisis fisicoquímico del agua residual de la empresa A.....	65
VI.	Aspectos relevantes en el mantenimiento de la planta de tratamiento La Cerra .....	83
VII.	Análisis fisicoquímico del agua residual de la empresa A.....	86

## GLOSARIO

<b>AMSA</b>	Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca del Lago de Amatitlán.
<b>Contaminación</b>	Introducción de un contaminante dentro de un ambiente natural que causa inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo.
<b>Cuenca hidrográfica</b>	Una cuenca hidrográficaárea de terreno que drena agua en un punto común, como un riachuelo, arroyo, río o lago cercano. Cada cuenca pequeña drena agua en una cuenca mayor que, eventualmente, desemboca en el océano.
<b>Desagües</b>	Denominados sistemas diseñados para drenar el agua. Los desagües de lluvia, conducen el agua hacia la red de alcantarillado para retirar el líquido y prevenir una inundación. La entrada del desagüe es conocida como boca de tormenta. Otro tipo de desagües dirigen el agua a una red separada de <i>aguas negras</i> o a una presa o lago artificial.
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

<b>OFG</b>	Oficinas de la Federación de Guatemala 1835.
<b>Proceso</b>	Conjunto de actividades o eventos coordinados u organizados que se realizan o suceden alternativa o simultáneamente bajo ciertas circunstancias con un fin determinado.
<b>Reciclado</b>	Transformación de los residuos, dentro de un proceso de producción, para su fin inicial o para otros fines.
<b>Residuos líquidos</b>	Todos los residuos en estado líquido provenientes de actividades humanas, como las aguas residuales o aguas servidas de una casa habitación de una industria.
<b>Residuos sólidos</b>	Aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado en el contexto en que son producidos ningún valor económico.
<b>Residuos</b>	Materiales generados por la actividad humana y cuyo destino es el de ser desechados o reciclados.
<b>Reutilización</b>	Empleo de un producto usado para el mismo fin para el que fue diseñado o usado originalmente.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación pretende realizar una mejora en la afluencia de turismo al lago de Amatitlán, dando seguimiento a los procesos gubernamentales establecidos actualmente en el mejoramiento ambiental y turístico del mismo; dentro de estos se pueden mencionar el teleférico, único en Centroamérica, y el mejoramiento y acomodamiento de la playa pública, además del soporte económico que tiene un gran sector de la población de dicho municipio y el apoyo que recibe al trabajo que realiza AMSA en toda la cuenca del lago de Amatitlán.

El mayor índice de contaminación del lago de Amatitlán lo producen los desechos sólidos, líquidos industriales y orgánicos que descargan las industrias a lo largo de la cuenca del lago de Amatitlán, actualmente son tratados los desechos sólidos más no los líquidos, contemplando dentro de su rama los tóxicos, combustibles, entre otros, que son descargados de forma descontrolada (como se cree que se hace).

Estos desechos pueden destruir ecosistemas o recursos hídricos del lago de Amatitlán y a lo largo de toda su cuenca y, que pueden afectar finalmente al ser humano. Sabido es que una descarga intencional de este tipo de líquidos puede tener un impacto muy negativo o incluso un efecto al medio ambiente incontrolado.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Reducir la contaminación en las aguas industriales residuales y dar a conocer el tratamiento de las aguas residuales vertidas en el lago de Amatitlán y su cuenca.

### **Específicos**

1. Reducir la contaminación en las aguas industriales residuales y dar a conocer el tratamiento de las aguas residuales vertidas en el lago de Amatitlán y su cuenca.
2. Documentar los grados de contaminación química, orgánica, inorgánica y natural de las muestras a analizar.
3. Medir la aplicación de la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente en las industrias.
4. Gestionar al Ministerio de Ambiente, para que sea aplicado el Manual de Legislación Ambiental en Guatemala, utilizando sanciones severas, para que se respeten las leyes ambientales del país.

5. Que el Estado apoye económicamente a AMSA en el estudio de aguas residuales en industrias de la cuenca.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio hace referencia al lago de Amatitlán, que alguna vez representó para el país una fuente de abastecimiento de agua y un destino de turismo nacional y extranjero, y actualmente está siendo afectado severamente por varios factores contaminantes como: el crecimiento de la población, la tala de árboles que se encuentran a su alrededor y falta de educación sobre el medio ambiente, entre otros.

Según este estudio, el principal factor de contaminación del mismo en los últimos años, se debe al creciente desarrollo en el área industrial de la cuenca del río Villalobos. Este crecimiento industrial en el área, ha provocado que dichas industrias descarguen aguas residuales contaminadas al lago sin ningún tipo de controles y sanciones por parte de autoridades, lo que podría originar que, si no se toman las medidas o acciones necesarias para la protección del lago, este pueda convertirse en unos años en un pantano.



# **1. EL LAGO DE AMATITLÁN Y SU CUENCA**

## **1.1. Monografía de Amatitlán**

El municipio de Amatitlán se localiza a 27 kilómetros al sur de la ciudad de Guatemala con una altura aproximada de unos 1 188 metros sobre el nivel del mar.

Cuenta con varias de vías de acceso asfaltadas, la principal de ellas, es la carretera CA-9 o autopista al pacífico, que conecta con la ciudad capital y municipios vecinos como: Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Mixco (en el departamento de Guatemala), San Vicente Pacaya, Palín y Escuintla (en el departamento de Escuintla).

### **1.1.1. Antecedentes históricos**

Tomando en cuenta los censos poblacionales a partir de 1950, y de acuerdo con los datos presentados por el Centro de Estudios Urbanos y Regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CEUR-USAC) en febrero de 2007, el cronista Óscar Fajardo Gil, realizó un estudio reciente que estima la población de Amatitlán en el 2010: 100 456 en el área urbana y 20 595 en el área rural. Estas cifras, calculadas técnicamente en sus mínimos, ubicarían la población actual del municipio de Amatitlán, Guatemala, en 121 051 habitantes.



Por Decreto Legislativo del 28 de agosto de 1835, Amatitlán tiene la categoría administrativa e histórica de ciudad (OFG). Es considerada como ciudad dormitorio, porque más del cincuenta por ciento de sus habitantes trabaja en la ciudad de Guatemala y otras localidades cercanas, sin embargo, existen muchas industrias que desde la década de 1960 se instalaron en el municipio: Casimires de Amatitlán (Novatex), IMCA Tappan, Jardines Mil Flores, Pinturas Fuller, Herramientas Collins, y transnacionales como: Bayer y Cementos Tolteca, entre las más importantes.

El municipio de Amatitlán tiene una topografía irregular, quebrada en un 65 por ciento, con pequeños valles; el mayor de los cuales es ocupado por la cabecera municipal. Las alturas van desde 1 150 hasta 2 565 metros sobre el nivel del mar.

Según la clasificación taxonómica de suelos de Simmons (1959), los suelos de la cuenca y el lago Amatitlán corresponden a las categorías taxonómicas III, V y VII, de vocación forestal.

La mayor parte del municipio es montañoso, solo la ciudad y el caserío El Rincón ocupan terreno plano, los demás poblados quedan sobre estribaciones montañosas. De las catorce aldeas, doce quedan en el margen oriental del lago de Amatitlán y únicamente dos sobre el margen occidental:

- Las Trojes y Agua de las Minas
- Sierra: Monterrico
- Montañas: Limón, Santa María, El Filón, La Cerra, La Mujer Dormida, Mal Paso, Silla de los Órganos;

- Cerros: El Morlón, Cardona, La Mariposa, El Limón, Corado, La Pipa, Palencia y Hoja de Queso.
  
- Volcán Pacaya: altitud de 2 522 metros sobre el nivel del mar y se encuentra en el límite entre los municipios de Amatitlán (departamento de Guatemala) y San Vicente Pacaya (Escuintla). Existe registro de sus erupciones desde 1556. Su último ciclo de actividad eruptiva se reinició en 1961, después de 76 años de reposo. Erupciones recientes que han requerido medidas de emergencia:
  - Mayo de 1999.
  
  - Enero 16 de 2000: la cual fue considerada por varios medios de comunicación como la más fuerte de los últimos 50 años;
  
  - Marzo y abril de 2009: intensa actividad caracterizándose por fuertes retumbos. Según Luis Alberto Roque, un guía local de turismo, se podían contar hasta 20 detonaciones por minuto, cuando lo normal es que esta cantidad ocurra en periodos de cinco minutos. Agregó que el Pacaya se encuentra lanzando piedras y lava volcánica en el extremo sur, la cual puede ser observada desde el cerro Chino. Personeros de la CONRED indican que en la parte sureste se formó un nuevo cráter, por lo que peligra el caserío El Rodeo el cual se encuentra próximo a las faldas del volcán.

Clima: el municipio de Amatitlán se localiza en la zona de bosque subtropical templado húmedo (Holdridge), que varía según las estaciones de invierno y verano, e influye en la dirección e intensidad de las corrientes eólicas. Los vientos predominantes en el día son nor-noreste, y en las madrugadas el viento sur. Su clima es seco en los meses de verano y húmedo en los meses de invierno, con temperaturas promedio de 26 a 30 grados centígrados.

La época más lluviosa es de junio a septiembre; la precipitación pluvial se establece dentro del rango de 650 a 1 500 milímetros al año.

### **1.1.2. Costumbres y tradiciones**

Los orígenes de sus costumbres y tradiciones, tan antiguas como sus calles, se pierden en el tiempo y son el reflejo fiel de los grandes cambios que ha tenido durante su devenir histórico. En su mayoría, han sobrevivido al paso vertiginoso de la vida moderna aderezando la vida cotidiana con su encanto de mazapanes y dulces.

Una de las principales tradiciones de Amatitlán se desarrolla en los primeros días de mayo, cuando se celebra la fiesta del día de la Santa Cruz. Un recorrido multitudinario a la luz de la luna se lleva a cabo por la vía lacustre, encaminándose hacia un costado del lago donde se encuentra una piedra que curiosamente semeja un trono. Allí se lleva una imagen del Niño Jesús que todo el año se venera en el templo frente al parque central. Otros ejemplos de este rico mosaico de tradiciones es el baile de las mengalas. En él, mujeres jóvenes ataviadas con vestidos largos y coloridos a la usanza del siglo XIX realizan una danza impecablemente coordinada.

Infaltables son los recorridos por el camino paralelo a la playa pública en donde unas hermosas construcciones elaboradas de piedra volcánica, le dan la bienvenida al visitante. En medio de una alameda que contrasta su verdor con el matiz oscuro de las piezas rocosas abundantes en la región los arcos, portales, vestidores, salones, graderíos y hasta una pileta son algunas de estas curiosas creaciones.

Además, Amatitlán es famosa por los deliciosos dulces típicos regionales, que atraen tanto al paladar como la vista debido a la forma tan particular de presentarlos. La cajeta de colores constituye un símbolo característico de esta tierra de azúcar, por ello una escultura representativa se encuentra en una de las entradas de la alameda de la playa. La variedad de estas creaciones culinarias es tanta, que le será difícil elegir.

## **1.2. El lago de Amatitlán**

El lago de Amatitlán tiene su origen en la era cuaternaria y su formación se debe a los movimientos tectovolcánicos ocurridos en el área y provocados por los volcanes de Pacaya, Agua, Fuego y Acatenango. Durante esa época, su extensión era aproximadamente 80 de kilómetros cuadrados, ocupando la superficie de los municipios de Amatitlán, Villa Nueva y Villa Canales, ya que se han encontrado fósiles de caracoles y pequeños esqueletos de peces durante excavaciones realizadas en esos lugares a principios de siglo. Durante la época precolombina, el lago fue la fuente principal de abastecimiento de agua y de alimento para las tribus pocomam asentadas a su alrededor.

Figura 1. **Lago de Amatitlán**



Fuente: AMSA.

En la actualidad, el lago es utilizado con fines de consumo doméstico, irrigación, recreación, hidroelectricidad, navegación comercial en pequeña escala y pesca con fines nutricionales y comerciales. El lago de Amatitlán se encuentra ubicado a 32 kilómetros de la ciudad capital, a una altura de 1 186 metros sobre el nivel del mar, con una longitud máxima de 11 kilómetros y un ancho máximo de 3,4 kilómetros. Se estima que el volumen de agua es de 225 millones de metros cúbicos; su profundidad promedio es de 15 metros y la

máxima es de 32 metros. Actualmente tiene una extensión de 15 kilómetros cuadrados. Los municipios que comparten las riberas del lago son: Amatitlán, Villa Canales, San Miguel Petapa y Villa Nueva.

### **1.2.1. Flora**

En el lago existen varias clases de plantas. En sus orillas se encuentran plantas como la *Jussiaea peruviana*, o hierba de clavo, la *Typha scrippas* o tul. Otras plantas flotan, como la *Eichhornia crassipes* conocida como lechugilla o ninfa. Entre las algas está la *Mycrosystis aeruginosa* (nata verde flotante) que produce un olor similar al gamezán, provoca irritación en la piel y al ser ingerida produce vómitos pudiendo ocasionar la muerte. Las algas se han reproducido en exceso debido a las grandes cantidades de fósforo y nitrógenos que llegan al lago proveniente de aguas residuales domésticas, industriales y agroindustriales, sin ningún tipo de tratamiento, las cuales son transportadas por el río Villalobos.

### **1.2.2. Fauna**

A la llegada de los españoles, en el lago existía una especie de pez pequeño llamado mojarra azul (*Chichlasoma guttulatum*), especie endémica del lugar. Su alimentación era herbívora, ya que se alimentaba de algas y plantas acuáticas. Posteriormente, se introdujo otra especie de pez, también herbívora: la pepesca (*Astianaxfasciatus*). Según cuenta la historia, esta fue sembrada en el lago por fray Jerónimo Martínez. “Este padre pobló la laguna de mojarra,

trayéndolas en botijas del mar del Sur, porque antes no se criaban allí, sino unos pescadillos muy pequeños...”<sup>1</sup>

Alrededor de 1940, nuevamente fue sembrada otra especie en el lago de Amatitlán. Este nuevo pez, el guapote o pez tigre (*Chichlasoma managüense*) que vive, en la actualidad es carnívoro. Se alimentó de las especies herbívoras y omnívoras, provocando un desequilibrio en el ecosistema del lago. Este hecho ocasionó también, la proliferación de algas (*fitoplancton*) y plantas acuáticas flotantes como lechugilla. Según estudios de García, Hayro, en 1997, realizados por esta autoridad, el *Chichlasoma managüense* presenta en promedio 16 partes por millón de plomo, es decir, ocho veces más lo que un ser humano puede soportar en toda su vida: 2 partes por millón. Se han detectado en el tejido muscular del pez, elevadas concentraciones de coniformes fecales y totales, entre otras.

Otro de los especímenes que se encuentran en gran proporción es el *Chichlasoma macracanthum* o mojarra negra, que es un pez omnívoro de carne muy nutritiva y pocas espinas. Además, en el lago se encuentran otras especies como la tilapia spp, que es un pez herbívoro y de coloración gris oscuro y su fecundidad puede alcanzar de 800 a 1 500 huevecillos por desove, la carpa, pupos, caracol, almeja, camarón y cangrejo. Las descargas de residuos sólidos al lago afectan negativamente a la reproducción de peces, ya que esta se precipita al fondo y cubre los huevecillos de los peces y los organismos que son alimento para estos, impidiendo se desarrollen.

---

<sup>1</sup> Deguate.com. (2007). La cuenca del lago de Amatitlán. [http://www.deguate.com/ecolog/article\\_2947.shtml](http://www.deguate.com/ecolog/article_2947.shtml). (Guatemala, febrero, 2010).DGN.

### **1.3. La cuenca del lago de Amatitlán**

La cuenca en toda su dimensión cuenta con; aproximadamente 381 31 kilómetros cuadrados, ubicada en la zona de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre. Esta cuenca es una subcuenca del río María Linda y se ubica dentro de las coordenadas, 14 grados 42 pies a 14 grados 22 pies 75 pulgadas latitudes norte y 90 grados 42 pies a 90 grados 16 pies 86 pulgadas longitud oeste del meridiano Greenwich. Los límites de la cuenca son los siguientes: al norte con la divisoria continental de aguas (calzada Roosevelt y Boulevard Liberación, siguiendo hacia los Arcos en la ciudad de Guatemala) y la cuenca del río Motagua de la vertiente del océano Atlántico; al oeste con la cuenca del río Achiguate; al este con la cuenca del río Los Esclavos; al sur con el río Michatoya y parte media del río María Linda, que constituye una de las cuencas de la vertiente del Pacífico.

#### **1.3.1. División Política**

La cuenca del lago de Amatitlán está formada por catorce municipios, algunos del departamento de Guatemala y otros de Sacatepéquez. Siendo los municipios de: Guatemala, Mixco, Santiago Sacatepéquez, San Bartolomé Milpas Altas, Santa Lucía Milpas Altas, Villa Nueva, Villa Canales, Amatitlán, San Lucas Sacatepéquez, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, San Pedro Sacatepéquez, Fraijanes y Magdalena Milpas Altas.



Tabla I. **Área en kilómetros cuadrados del municipio dentro de la cuenca**

No.	Municipio	Área km <sup>2</sup>	Dentro de la Cuenca
1	San Pedro Sacatepéquez	30.00	5.89
2	Santiago Sacatepéquez	15.00	5.74
3	San Bartolomé Milpas Altas	7.00	1.77
4	San Lucas Sacatepéquez	24.00	19.24
5	Mixco	99.00	45.26
6	Guatemala	228.00	42.65
7	Santa Catarina Pinula	48.00	25.18
8	San Miguel Petapa	20.25	20.25
9	Villa Nueva	75.00	73.42
10	Santa Lucía Milpas Altas	19.00	9.83
11	Magdalena Milpas Altas	8.00	5.94
12	Fraijanes	91.00	2.65
13	Villa Canales	353.00	76.34
14	Amatitlán	114.00	32.15
	Cuerpo del Lago	15.00	15.00

Fuente: AMSA.

### 1.3.2. Hidrología

La cuenca del lago de Amatitlán está conformada por varias microcuencas cuyas aguas convergen en el río Villalobos, afluente principal del lago de Amatitlán.

Los ríos de la cuenca del lago de Amatitlán suman 289 kilómetros lineales. Siendo los principales: Platanitos, Pinula, Las Minas, Tuluja, El Bosque, Molino, San Lucas y Parrameño.

### **1.3.2.1. Río Villalobos**

Hacia el lado este del lago, drenan , directamente, los ríos Pampumay y Chanquín. El Villalobos es el principal río de la cuenca. Este inicia a una altura de 1 480 metros sobre el nivel del mar. Su cuenca tiene una extensión de 61 76 kilómetros cuadrados y una longitud de 22 kilómetros. Al unirse las aguas de los ríos Molino y San Lucas se forma el río Villalobos a la altura del kilómetro 12,5 ruta CA-9 Pacífico, complejo de puentes Villalobos, por lo que toma su nombre desde ese punto hasta la desembocadura en el lago de Amatitlán.

Prácticamente todos estos ríos se encuentran contaminados por las descargas domiciliarias e industriales de la zona, los que en época de invierno arrastran lodos, basura, material vegetal, ripio, entre otros. Para 1978, el río Villalobos ya presentaba elevada contaminación de sólidos en suspensión y altas concentraciones de plomo, fósforo, potasio, sodio, nitratos y nitritos entre otros.

Se ha detectado una elevada contaminación con excretas, evidenciada a través de la presencia de coliformes fecales, provenientes de las descargas de aguas negras.

#### **1.4. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA)**

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Lago de Amatitlán (AMSA) fue creada con el Decreto No. 64-96 del Congreso de la República de Guatemala, el 18 de septiembre de 1996, con el propósito de resguardar y recuperar el lago de Amatitlán, mediante la descontaminación y el uso racional de los recursos renovables y no renovables de las zonas de recarga de acuíferos y zonas boscosas. AMSA se constituye por: la División Ejecutiva y Administrativa, División de Manejo de Desechos Sólidos, División de Manejo de Desechos Líquidos, División Forestal, Ordenamiento Territorial, rescate de Lago, Limpieza del lago, Control Ambiental y Educación Ambiental.

Dentro de los proyectos de AMSA está la reforestación, el cual repone y estabiliza los suelos mediante la recuperación de áreas boscosas. Otro proyecto muy importante es la Limpieza del Lago, cuya actividad básica consiste en mantener el espejo del lago limpio de basura, plantas y micro algas. AMSA, también cuenta con programas de concientización y formación de una cultura ambiental para la población, los cuales son implementados por la División de Educación Ambiental.

##### **1.4.1. Visión**

"Procurar la integración de recursos necesarios para devolverle a la humanidad, en el menor tiempo posible, el lago de Amatitlán en condiciones adecuadas para su uso y disfrute sostenible, a través del manejo apropiado de la cuenca de acuerdo a su ley de creación".

Meta crucialmente importante: "Devolverle a la humanidad el lago de Amatitlán en condiciones adecuadas, para uso y disfrute sostenible".

#### **1.4.2. Misión**

"Somos la autoridad para el rescate del lago de Amatitlán que, a través del trabajo en equipo con los diferentes sectores de la sociedad, procuramos los medios necesarios y aplicamos estrategias socio-ambientales para resguardar los recursos naturales y culturales de los catorce municipios de influencia, mediante la ejecución de planes, programas y proyectos, garantizando la mejora de vida de sus habitantes".

- Ubicación y localización de AMSA:

Oficinas centrales ubicadas en el kilómetro 22 CA-9 Bárcenas, Villanueva.

- Alcance del proyecto:

Se realiza limpieza de las playas públicas de Amatitlán, Villa Canales y San Miguel Petapa; para evitar que masas de ninfa y residuos sólidos provoquen focos de contaminación en las áreas de recreación.

## **1.5. Agentes contaminantes**

Todos aquellos factores de riesgo presentes en la atmósfera, susceptibles de producir enfermedades graves y/o accidentes de trabajo. De acuerdo a su comportamiento pueden ser:

- **Muy tóxicos:** Aquellos que por ingestión, inhalación o penetración cutánea en muy pequeñas cantidades, pueden provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
- **Tóxicos:** aquellos que por ingestión, inhalación o penetración cutánea en muy pequeñas cantidades, pueden provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.
- **Corrosivos:** son los que en contacto breve, prolongado o repetido con la piel, mucosa, pueden provocar una reacción inflamatoria.
- **Irritantes:** estos son no corrosivos que en contacto breve o prolongado o repetido con la piel o las mucosas, pueden provocar una reacción inflamatoria.
- **Sensibilizantes:** los que por contacto o por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior dé lugar a efectos negativos característicos.
- **Cancerígenos:** por ingestión. inhalación o penetración cutánea, pueden producir cáncer o aumentar su frecuencia.

- Mutagénicos: por ingestión, inhalación o penetración cutánea, pueden producir alteraciones genéticas hereditarias o aumentar su frecuencia.
- Tóxicos para la reproducción: estos son los que por ingestión, inhalación o penetración cutánea, pueden producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia o aumentar la frecuencia de estos; o infectar de forma negativa a la función o capacidad reproductora.
- Agentes sólidos: este grupo incluye sustancias como minerales de asbestos, sustancias contaminantes adsorbidas a partículas sólidas, sólidos en suspensión y también los polvos (los últimos dos con carácter transitorio entre sólido y gaseoso).
- Agentes líquidos: todo tipo de sustancia líquida que puede causar daños para la salud incluyendo, por ejemplo: todo tipo de combustible que puede destruir ecosistemas o recursos hídricos en general y, que pueden afectar finalmente, también al ser humano.
- Agentes orgánicos: residuos vegetales en el suelo y el agua producido por la descomposición natural de la celulosa, ligninas, peptinas y albúminas; los residuos de los excrementos de animales con posibles efectos nocivos y también organismos vivos como algas y bacterias.
- Agentes inorgánicos: son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son: cloruros, sulfatos, nitratos carbonatos, desechos ácidos, alcalinos gases tóxicos disueltos en el

agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)

Figura 2. **Agentes sólidos**



Fuente: AMSA.

Figura 3. **Agentes contaminantes líquidos**



Fuente: AMSA.

Figura 4. **Agentes tóxicos**



Fuente: AMSA.

Figura 5. **Agentes corrosivos**



Fuente: AMSA.



Figura 6. **Agentes orgánicos**



Fuente: AMSA.

Figura 7. **Agentes inorgánicos**



Fuente: AMSA.

Figura 8. **Desagües**



Fuente: AMSA.



## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

El lago se ve directamente afectado por los impactos crecientes del área a través de: crecimiento de la población, tala de los árboles a su alrededor, uso inadecuado de la tierra, desarrollo industrial en el área de la cuenca, falta de educación sobre el medio ambiente, control de la no protección del medio ambiente por parte de las empresas y la ausencia de previsión apropiada y programa de dirección.

La cuenca del lago de Amatitlán corresponde a la parte alta de la cuenca del río María Linda, tiene una extensión de 382 kilómetros cuadrados y está conformado por 14 municipios de los cuales 7 tienen mayor injerencia siendo estos: Mixco, sur de la capital, Villa Nueva, Santa Catarina Pinula, Villa Canales, San Miguel Petapa y Amatitlán. Está ocupada en el 51 por ciento por área industrial y urbana, donde se ubican más de 900 industrias de diferentes ramas.

### **2.1. Utilización del lago de Amatitlán**

- Fuente de agua
- Navegación
- Transporte
- Turismo, unos 10 mil visitantes por año.
- Recreación (nadando, deporte de pesca)

- Pesquerías

## **2.2. Tipo y composición de desechos que llegan al lago de Amatitlán**

- Fósforo y nitrógenos provenientes de la fertilización.
- De las plantaciones agrícolas el café, el tabaco, etc., que provocan la muerte del agua.
- Aguas negras, domésticas, de chalet y de viviendas alrededor del lago y en su cuenca.
- Aguas residuales de origen industrial que desembocan en los ríos afluentes del lago.
- Lago como letrina pública.
- Detergentes y tipos de jabones y cloro que utilizan las personas como las lavanderas.
- La deforestación masiva de la cuenca y alrededores del lago.
- Residuos de los motores de gasolina de las lanchas, así como los derramamientos de aceite y gasolina en el lago por irresponsabilidad.
- Basura como: papeles, cartones, bolsas, llantas usadas, plásticos, latas, vidrios, etc..
- Agua residuales de la ciudad de Guatemala.
- Aguas negras y basura provenientes de casas.
- Aceite y petróleo derramado por la planta EEGSA.
- Desechos de pollos, vacas y cerdos.
- Pesticidas, fungicidas, aceites y grasas.
- Desechos industriales como plomo, mercurio y silicio, entre otros.

### 2.3. Desagües

El lago de Amatitlán es contaminado por 22 desagües de fábricas, las aguas negras tiene una serie de elementos como: arsénico, plomo, cobre y hierro, que pueden producir cáncer en el organismo. Los ríos que vierten sus aguas en el lago de Amatitlán y son usados como desagües de fábricas son:

- Panchochá, Mariscal, San Lucas Parraineño, Pinula, Cuadros, Pansalic, Mesillas, Arenal, Tumulá, El Bosque Molino, Villalobos, Pmpuinay, Canquín, Platanitos, Panacoy, Michatoya, Blanco, Las Minas, Santa Marta Mico.

Figura 9. **Desagües de aguas negras**



Fuente: AMSA.

Figura 10. **Desagües y basura**



Fuente: AMSA.

## **2.4. Contaminación**

Las industrias son responsables de la contaminación del lago por diversos factores, las más sobresalientes están las investigaciones hechas en el lago de Amatitlán y su cuenca sobre metales pesados, este suceso viene ya desde hace unos 24 años, aproximadamente desde 1981.

### **2.4.1. Contaminación industrial**

Con los diferentes estudios que se han hecho se han encontrado varios elementos en el agua del lago como:

- Cu (cobre)
- Na (sodio)
- K (potasio)
- Ag (plata)
- Mg (magnesio)
- Ca (calcio)
- Sr (estroncio)
- Ba (bario)
- Zn (zinc)
- B (boro)
- Se (selenio)
- La (lantano)
- Ce (cerio)
- Si (silicio)
- Ge (germanio)
- Hg (mercurio)
- P (fósforo)
- As (arsénico)
- Nb (niobio)
- S (azufre)
- Cr (cromo)
- Te (teluro)
- F(fósforo)
- Mn (manganeso)
- Co (cobalto)
- Ni (níquel)



- Clases de industrias:
  - Textiles
  - Químicas
  - Metales
  - Alimenticias
  - Plástico
  - Hule
  - Caucho
  - Yeso
  - Cerámica
  - Madera

#### **2.4.1.1. Contaminación con agentes sólidos**

El grupo de sustancias sólidas incluye: minerales de asbestos, sustancias contaminantes absorbidas a partículas sólidas, sólidos en suspensión y también los polvos. (los últimos dos con carácter transitorio entre sólido y gaseosos).

- Suelo, roca, escavado o residuos de la construcción ( en general no tóxico, pero con la problemática de almacenarlos en alguna parte).
- Basura doméstica industrial en general.
- Otras sustancias que hay que considerar como residuos especiales o tóxicos.

### **2.4.1.2. Contaminación con agentes líquidos**

Esto es provocado por todo tipo de sustancias líquidas que pueden causar daños para la salud, incluyendo todo tipo de combustibles que puedan destruir ecosistemas o recursos hídricos en general y, que pueden afectar finalmente al ser humano. Estos líquidos pueden ser liberados al medio ambiente en forma controlada e intencionalmente o en forma incontrolada de la siguiente forma:

- Forma controlada: esto significa que se conoce la cantidad y la concentración exacta de los residuos y el área de la dispersión que permite reducir el riesgo al medio ambiente.
  - Descarga de residuos sobre aguas superficiales, es decir en el océano.
  - Infiltración intencionada de residuos, como ácidos al suelo o la dispersión de pesticidas sobre un terreno.
- Forma incontrolada: en esta forma no se conoce la cantidad de residuos que son dispersados o infiltrados.
  - Emisión de líquidos por un accidente o por mala manipulación, almacenamiento inadecuado.

- Formación de lixiviado y filtración de sustancias líquidas al subterráneas. Esto incluye la formación de aguas ácidas en las minas.

Es importante que la clasificación en la emisión controlada e incontrolada no se dice nada sobre el peligro real de las sustancias, también una descarga intencional puede tener un impacto muy negativo e incluso un efecto al medio ambiente incontrolado.

- Industrias: contaminación del lago de Amatitlán

En la cuenca de lago de Amatitlán se ubica el 25 por ciento de las industrias nacionales. Estas se ubican entre las zonas 11 y 12 de la capital y en Villa Nueva. Hasta el momento no existe ningún sistema de tratamiento de las aguas servidas industriales, ni de los desechos peligrosos que se originan de los diferentes procesos industriales; por lo que todo eso va a parar al lago contaminándolo y el fondo del mismo contribuyendo así con la destrucción de la vida animal y vegetal del mismo. El río Villalobos es el principal río del área, para 1978, este río ya presentaba una elevada contaminación de sólidos en suspensión y altas concentraciones de plomo, fósforo, potasio, sodio, nitrato y nitrito. Se ha marcado una alta contaminación con excretas, evidenciada a través de la presencia de coliformes fecales, provenientes de la descarga de aguas negras.

El río Villalobos arrastra al lago 75 515,33 toneladas de desechos por año. En los últimos cinco años el lago ha perdido aproximadamente 26 mil metros cuadrados de extensión; las algas, ninfas, hierba de clavo y el tul se han

reproducido en exceso debido a las grandes cantidades de fósforo y nitrógeno que llegan al lago.

#### **2.4.2. Contaminación de origen doméstico por parte de los vecinos del lago de Amatitlán y su cuenca**

Aguas negras, domésticas, de chalet y de viviendas alrededor del lago y en su cuenca.

- Lago como: letrina pública; detergentes y tipos de jabones y cloro que utilizan las personas como las lavanderas.
- Basura como: papeles, cartones, bolsas, llantas usadas, plásticos, latas, vidrios, etc., además de las aguas residuales de la ciudad de Guatemala.
- Contaminación agropecuaria: la deforestación masiva de la cuenca y alrededores del lago, los pesticidas, fungicidas, aceites, grasas, además de los desechos de pollos, vacas y cerdos.
- Contaminación visual: los residuos sólidos significan contaminación de alto impacto visual y olfativo, el cual pone en evidencia la problemática ambiental del lago, tanto a los ojos de los guatemaltecos como de los turistas. Al considerar al lago de Amatitlán como un lago de potencialidades turísticas y ecoturísticas de primer grado, la contaminación visual y olfativa de los residuos sólidos diseminados por doquier afecta profundamente estas actividades.

- Tratamientos de desechos sólidos: el manejo de desechos sólidos es la gestión de los residuos, la recogida, el transporte, tratamiento, reciclado y eliminación de los materiales de desecho. El término, generalmente se refiere a los materiales producidos por la actividad humana, y, en general, para reducir sus efectos sobre la salud y el medio ambiente. La gestión de los desechos es también llevada a cabo para recuperar los propios recursos de dichos residuos. La gestión de los desechos puede implicar tanto estados sólidos, líquidos, gases o sustancias radiactivas, con diferentes métodos y técnicas especializadas para cada uno.
- Tratamientos de desechos líquidos: este se fundamentan en la combinación de operaciones de filtración y centrifugación; la filtración y la centrifugación se basan en la separación de la materia sólida en suspensión o sedimentada presente en los residuos líquidos.

### **3. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

#### **3.1. Tipos de industrias en la cuenca del lago**

- Industrias alimentarias: es la parte encargada de la elaboración, transformación, preparación, conservación y envasado de los alimentos de consumo humano y animal. Las materias primas de esta industria son productos de origen vegetal (agricultura), animal (ganadería) y fúngico. El progreso de esta industria ha permitido diversificar los alimentos que se pueden consumir en la actualidad. El aumento de la producción está estrechamente ligada al esfuerzo progresivo en la vigilancia de la higiene, y aplicación de procesos adecuados para poder alcanzar los estándares de calidad en la producción de los alimentos.
- Industrias de madera: empresas que en Guatemala se dedican a vender madera para construcción, materiales para carpintería, selladores, barnices, toda la gama de herrajes.
- Industrias de plásticos: es la industria que se encarga de la manufactura de resinas blancas y polímeros, a partir de productos químicos que provienen del petróleo y sus derivados. Se encargan de producir mediante procesos industriales como moldeo (por inyección, compresión, rotación, inflación, etc.), la extrusión de perfiles o hilos. La mayor parte del proceso de plásticos se realiza en hornos, con maquinaria alimentada

por combustibles derivados del petróleo o la energía eléctrica. En cuanto a contaminación ambiental se refiere esta industria según sus características moleculares (tipos de polímero) del plástico contribuyen a que presenten una gran resistencia a la degradación ambiental y con mayor razón a la biodegradación. La radiación UV del sol es la única forma de degradación natural que hace sentir sus efectos en el plástico a mediano plazo (de 100 a 1000 años<sup>2</sup>), destruyendo los enlaces polímeros tornándolos frágiles y quebradizos.

- Industrias químicas: se ocupa de la extracción y procesamiento de las materias primas, tanto naturales como sintéticas, y de su transformación en otras sustancias con características diferentes de las que tenían originalmente, para satisfacer las necesidades de las personas mejorando su calidad de vida. Su objetivo principal es elaborar un producto de buena calidad con el costo más bajo, tratando de ocasionar el menor daño posible al medio ambiente.
- Industrias textiles: es el nombre que se da al sector de la economía dedicada a la producción de ropa, tela, hilo, fibra y productos relacionados; se suele incluir la industria de calzado como parte de la industria textil. Los textiles son productos de consumo masivo que se venden en grandes cantidades. Esta industria genera gran cantidad de empleos directos e indirectos y tiene mucha importancia en la economía mundial.

---

<sup>2</sup> Según la BBC en informe basado en un estudio científico publicado en la revista Environmental Science and Technology. Consulta: 8 de febrero de 2013.

Según la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA) y otros estudios que se han realizado por parte de otros profesionales y dentro de estos mencionan que en el año de 1987, la Licenciada en biología química Beltrán Paíz, Ana Beatriz, en la investigación titulada: Determinación de los niveles fluctuantes de los nutrientes, determinó los niveles de amonio, nitrito y ortofosfato para la cuantificación del grado de avance de la eutroficación del lago de Amatitlán.

En 1997, la autora Aguilar Rojas Grethel, en su obra de Derecho Ambiental en Centroamérica, cita al ambientalista Kestler y comenta que este realizó una determinación cuantitativa de metales pesados en mojarra negra y guapote tigre, encontrando concentraciones de los siguientes metales: Ca (calcio), Zn (zinc), (Cu (cobre), Pb (fósforo), Se (selenio), S (azufre), Mn (manganeso), Cr (cromo), Te (teluro), Ni (níquel), Co (cobalto) y V (na-sodio).

En 2003, Tetzaguic Car, Carlos, realizó una sistematización de la información de la calidad del agua del lago de Amatitlán, con parámetros que determinan su contaminación. Estos estudios, entre muchos otros, reflejan que las industrias son las mayores responsables de la contaminación del lago por diversos factores, entre los cuales se considera que los más importantes son:

- No haber implementado planta de tratamiento de agua.
- Los desechos sólidos son vertidos a lo largo de la cuenca.



- Escaso o nulo monitoreo por parte de las delegaciones gubernamentales que se encargan de velar por el cumplimiento de las leyes y normas existentes que velan por preservar un ambiente sano en el país.
- Desechos domésticos.
- Desechos agrícolas, fertilizantes, la erosión causada por la extracción de arena y todo el uso que actualmente se le da al lago de Amatitlán y su cuenca.

Tetzaguic Car Carlos (2003), demostró en su estudio que la contaminación del lago de Amatitlán, se ha incrementado durante las últimas décadas, por lo que en la actualidad es el cuerpo de agua de Guatemala, que presenta la mayor contaminación física, química y biológica, debido a las descargas de agua servidas domésticas e industriales, que sin ningún tratamiento son transportadas por corrientes de agua (ríos y riachuelos), los cuales finalmente vierten estas aguas al río Villalobos y este transporta directamente al lago de Amatitlán.

En los diferentes estudios realizados a través del tiempo y, principalmente el de Beltrán Paíz, Ana Beatriz, en 1997, la investigación titulada: "Determinación de los niveles fluctuantes de los nutrientes: amonio, nitrito y ortofosfato para la cuantificación del grado de avance de la eutroficación del lago de Amatitlán se ha concluido que en el lago de Amatitlán existen varios elementos como:

- Ácido fosfórico ( $\text{PO}_4^{-3}$ ).

En la cuenca del lago de Amatitlán se encuentra el 25 por ciento de las industrias nacionales. Estas se ubican entre las zonas 11 y 12 de la capital y en Villa Nueva. Hasta el momento no existe ningún sistema de tratamiento de las aguas servidas industriales, ni de los desechos peligrosos que se originan de los diferentes procesos industriales, ocasionando que los mismos terminen o desemboquen en el lago, provocando la destrucción de la vida animal y vegetal del mismo.

La clase de contaminación que provoca un impacto en el lago, se caracteriza por el siguiente tipo de materiales:

- Fósforo (P) y nitrógenos provenientes de la fertilización de los cultivos (café, hortalizas, pepino, etc.). alrededor del lago de Amatitlán y su cuenca.
- Aguas negras, domésticas, de chalet y de viviendas alrededor del lago y en su cuenca.
- Aguas residuales de origen industrial que desembocan en los ríos afluentes del lago.
- Detergentes y tipos de jabones; así como cloro, que utilizan las personas que lavan ropa en las orillas del lago.
- Residuos de los motores de gasolina de las lanchas, así como los derramamientos de aceite y gasolina.

- Aguas residuales de la ciudad de Guatemala.
- Aceite y petróleo derramado por la planta EGSA (Hidroeléctrica Jurún Marinalá y para el enfriamiento de la termoeléctrica La Laguna)
- Pesticidas, fungicidas.
- Desechos industriales como: plomo, mercurio y silicio, entre otros.

### **3.2. Empresas a analizar**

En general, el noventa por ciento de las empresas industriales que circundan la cuenca del lago de Amatitlán, según AMSA, no cuentan con plantas de tratamiento de aguas ni mucho menos de desechos sólidos, por lo que al hacer un análisis de todas ellas, conllevaría, cada una de ellas un estudio individual, por lo que generalizando se puede mencionar como ejemplo, la siguiente rama:

- Empresa textil: todos los procesos utilizados por las diferentes industrias que se encuentran en la cuenca del lago contaminan al mismo, pero el proceso y tipo de químicos así como tintes que utiliza la industria textil, hacen concluir que esta, es la industria que produce el grado más alto de contaminación, entre todos los tipos de industrias existentes, por lo tanto, se toma la decisión de analizar este tipo y, generalizar al resto de industrias de la cuenca.

Las descargas de aguas residuales, que no han sido adecuadamente limitadas, pese a leyes existentes (Acuerdo Gubernativo No 236-2006 del 05 de mayo de 2006 que aún no están vigentes (no se aplican); sigue contaminando la vida acuática, y en general el ecosistema del lago de Amatitlán.

Las industrias textiles y, en general cualquier tipo de industria, están obligadas a tratar las descargas de aguas residuales que realizan al lago según el capítulo X en sus artículos del 55 al 58 del Acuerdo Gubernativo No 236-2006.

La industria textil, en general, en su proceso productivo tiene consumos altos de agua, ya que una gran parte este es en húmedo. La generación de afluentes se realiza en forma intermitente porque el proceso productivo es por lotes (*Batch*). Como consecuencia de las operaciones húmedas en una planta textil, el agua residual presenta características particulares tales como: almidones, dextrinas, gomas, glucosa, ceras, pectinas, alcoholes, ácidos grasos, ácido acético, jabones, detergentes, hidróxido de sodio, carbonatos, sulfuros, cloruros, colorantes y pigmentos, peróxidos, entre otros. El pH varía entre 5 y 10; y siempre predomina el tono del colorante utilizado. Debido a que esta industria fue seleccionada para objeto de análisis de la presente investigación, se realizaron visitas a varias de ellas, pero debido a la naturaleza y objetivos del presente estudio, la mayoría no accedieron a someterse a los análisis requeridos.

La única industria en aceptar, solicitó de manera estricta no ser mencionada por nombre y no dar su dirección exacta, por lo cual se denominará para efectos del presente trabajo de investigación, como la empresa A.

La empresa A cuenta con las características particulares y esenciales que necesita este estudio, como la carencia de una planta de tratamiento de aguas y verter aguas residuales en el río Villalobos, que es uno de los principales de la cuenca del lago de Amatlán.

### **3.3. Tipos de análisis aplicables al muestreo de aguas residuales**

La toma de muestra es el conjunto de procedimientos destinados a obtener una parte representativa cuantitativamente a partir de un todo. En este caso corresponde a la toma de muestra de las aguas residuales descargadas por industrias de tipo textil adyacentes al lago y su cuenca.

Consideraciones generales para la toma de muestras:

- Conocer qué se va a tomar como muestra.
- Por qué se va a tomar la muestra. Si es para fines de diagnóstico y/o investigación.
- Cómo se va a tomar la muestra.
- Dónde se va a tomar la muestra.

- Cuándo se va a tomar la muestra.

Características de una toma de muestra:

- Debe ser obtenida del lugar donde se asiente el estudio.
- Generalmente debe ser tomada del desagüe de la empresa textil.
- Ser cualitativamente óptima para su estudio.
- Alcanzar cuantitativamente un volumen razonable. En la mayoría de los casos ser de emisión reciente.
- Debe ser obtenida cuando la empresa esté operando.
- Obtenida siguiendo criterios científicos, químicos y funcionales.
- Perfectamente envasada, evitando recipientes que, potencialmente pueden producir contaminaciones accidental.
- Enviar inmediatamente al laboratorio para su estudio o si tiene que transcurrir algún tiempo será enviada en recipientes especiales o en medios de cultivo de transporte.
- Obtenida con material esterilizado y en condiciones de asepsia.

Clasificación de la toma de muestra: se puede clasificar en tres grupos:

- Superficiales
- De cavidades
- Especiales

#### **3.4. Análisis de aguas industriales residuales vertidas en el lago de Amatitlán y su cuenca**

- Descripción del proceso a utilizar para la toma de muestras:

Se deben realizar la toma de muestras de aguas residuales de la empresa seleccionada, deberán ser recolectadas por un analista, en utensilios esterilizados previo a su uso, para no afectar la calidad de la muestra, en un total de 5 tomas de 100 milímetros cada una, tomadas al azar en un tiempo contemplado de 8 horas en horarios donde la empresa esté en operaciones. Las mismas serán llevadas a laboratorios de AMSA para su análisis posterior.

Al momento de ejecutar el análisis, se deberán realizar evaluaciones referentes al grado de toxicidad, grado de contaminantes químicos, inorgánicos y orgánicos; concluyendo cuáles son los de mayor valoración para el mismo. Los resultados obtenidos deberán ser comparados con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 del Reglamento de Descargas de Aguas Residuales, determinando así, los principales contaminantes del agua residual de la empresa A.

- Proceso realizado para el análisis de las muestras de aguas residuales vertidas por la industria a de tipo textil en el río Villalobos

Para obtener los resultados del análisis de agua, se tomaron muestras de agua dentro de la empresa A en el área de desagües generales. Esta toma de muestras se realizó en un día normal de trabajo, durante 8 horas, siendo una muestra compuesta, debido a que se tomó la muestra de agua al azar por 5 veces en horarios diferentes.

Las muestras se mantuvieron a temperatura de 5 grados centígrados y en recipiente de vidrio para un resultado más preciso. Además se obtuvieron resultados de flujo, pH y temperatura, los cuales fueron tomados dentro de la empresa. Se analizaron estas muestras en el laboratorio AMSA, para compararlos con los parámetros más importantes para el análisis de aguas residuales según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos. Los resultados y parámetros de comparación pueden ser analizados en la tabla I.

#### **3.4.1. Tratamiento adecuado para los contaminantes encontrados**

El muestreo se realizó en el área de desagües generales de la empresa A, el día 17 de mayo de 2012, hechos por el personal de AMSA y transportados hasta sus laboratorios para los análisis correspondientes. A continuación se analizará cada resultado obtenido, así como el tratamiento adecuado para cada contaminante, para llegar a obtener un alto porcentaje de remoción:



- Caudal

En el día analizado, el caudal de agua fue de 0,46 litros. Se debe tomar en cuenta que el caudal es importante en el diseño del sistema de tratamiento de agua. Este fue tomado dentro de la empresa, a partir del tiempo necesario para llenar un recipiente en el punto donde se obtiene el agua utilizada en las operaciones diversas de la empresa A. Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 el resultado se encuentra fuera del parámetro permitido, que es de 0,80 litros.

- Temperatura

La temperatura de las aguas residuales de la empresa A de tipo textil fue de 20,7 grados centígrados. La temperatura promedio del día se mantuvo estable en el período analizado. El rango de temperaturas permite catalogarla como adecuada al ambiente de acuerdo a los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

- pH (Nivel de acidez o alcalinidad de una solución)

El pH durante el trabajo realizado fue de 8,75 unidades. Este valor se encuentra entre los niveles permisibles del reglamento. Aunque es recomendable bajar a un nivel neutro (6 unidades), según lo establecido por el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Los resultados siguientes, se refieren a los contaminantes principales del agua residual de la empresa A, así como el tratamiento adecuado para cada uno.

- Sólidos suspendidos totales (SST)

El valor promedio de SST de la muestra compuesta tomada fue de 1 148 miligramos por litro. Debe recordarse que este tipo de sólidos está asociado particularmente, a los sedimentos y lodo que llevan las aguas residuales después del lavado de las máquinas. La mayoría de estos sólidos pueden ser fácilmente sedimentables.

Este valor se encuentra fuera de los límites permisibles que establece el Reglamento 236-2006, que es de 100 miligramos por litro. El tratamiento adecuado para obtener una mayor remoción de estos es la sedimentación, debido a que, al sedimentar todos los sólidos suspendidos, el agua ya pasaría sin ningún sólido presente.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

El valor de DQO fue de 1 800 miligramos por litro. El valor obtenido se encuentra por encima de los valores tolerados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 que es de 200 miligramos por litro. La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa que proporciona una idea real del grado de toxicidad y de la contaminación orgánica de un afluente; siendo un parámetro que debe estar sujeto a constantes evaluaciones.

El valor de DQO es mucho mayor que el valor de DBO, por lo que una parte importante de la materia orgánica presente en el agua no será fácilmente biodegradable. Para disminuir el contenido de materia orgánica no biodegradable, es necesario desestabilizar las cargas orgánicas de la materia orgánica en suspensión para que sean fácilmente filtrables o sedimentales, si es necesario, se pueden utilizar procesos de coagulación y floculación. En este caso, los sólidos son fácilmente sedimentales, por lo que, no fue necesario la utilización de floculantes.

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El valor de DBO fue de 220 miligramos por litro. El resultado demuestra que el DBO se encuentra fuera de los límites aceptables por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales; que es de 100 miligramos por litro según el Acuerdo Gubernativo 236 - 2006, por lo que un tratamiento biológico es necesario debido a los niveles altos de materia orgánica biodegradable que existe en el agua. Sin embargo, al utilizar la sedimentación, se espera que este valor disminuya aproximadamente, en un 50 por ciento, debido a la eliminación de los sólidos.

La relación entre estos dos parámetros (DQO y DBO) es un indicativo de la calidad del agua, por lo que es necesario e importante mantener estos parámetros dentro de los límites permisibles.

- Grasas y aceites

El valor de las grasas y aceites, fue de 162 miligramos por litro, esta cantidad se encuentra por encima de los límites permisibles del reglamento de aguas residuales, que es de 10 miligramos por litro según el Acuerdo Gubernativo 236 - 2006. Estos pueden ser eliminados con una trampa de grasa o utilizando un procedimiento de absorción de la grasa.

### **3.5. Toma de decisiones**

Con base a los resultados obtenidos del análisis de la muestra de aguas residuales que son vertidas por las industrias (tanto textiles como de cualquier otro tipo de industria) que se encuentran ubicadas en la cuenca del lago de Amatitlán; se hace necesario tomar la decisión de recomendar, como medida de urgencia, que cada industria ubicada en el sector indicado, implemente la utilización de una planta de tratamiento de aguas residuales.

También es de suma importancia que cada industria ubicada en la cuenca del lago, realice un muestreo de sus aguas residuales, que permitirá establecer qué tipos de agentes contaminantes produce. Una vez identificados dichos contaminantes, deberá incorporar a su planta los tratamientos específicos para cada contaminante encontrado, con la finalidad de disminuir y bien, si es factible, lograr la remoción de las concentraciones de los mismos y así lograr disminuir el grado de contaminación y en un futuro erradicar por completo la contaminación del lago de Amatitlán.

### **3.6. Plantas de tratamientos de agua**

Las plantas de tratamiento de aguas se definen como el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación, características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

#### **3.6.1. Tipos**

Para el caso de las aguas urbanas ya usadas para tratar se les llama aguas negras; en el caso de las aguas para usos industriales ya usadas y para tratar se les llamarán aguas residuales.

La finalidad de la implementación de plantas de tratamiento de agua es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida, como de su destino final.

Debido a que las mayores exigencias en lo referente a la calidad del agua se centran en su aplicación para el consumo humano y animal, los tratamientos se organizan o clasifican en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración de aguas residuales, aunque ambos comparten muchas operaciones.

Las aguas residuales pueden provenir de actividades industriales o agrícolas y del uso doméstico. Los tratamientos de aguas industriales son muy

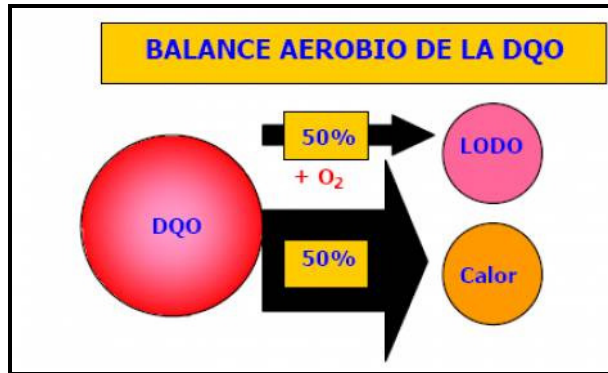
variados, según el tipo de contaminación, y pueden incluir precipitación, neutralización, oxidación química y biológica, reducción, filtración, ósmosis, etc.

Según las características de los afluentes y de las aguas ya usadas las plantas de tratamiento de agua más comunes son las siguientes:

- Planta de tratamiento de aguas de proceso aerobio
- Planta de tratamiento de aguas de procesos anaerobio
- Planta de tratamiento de aguas por floculación o coagulación
  - Plantas de tratamiento de aguas de proceso aerobio

En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, por lo cual, se necesita introducirlo artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente, la mayor parte de la DQO (demanda química de oxígeno) de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado.

Figura 11. Diagrama aerobio



Fuente: AMSA.

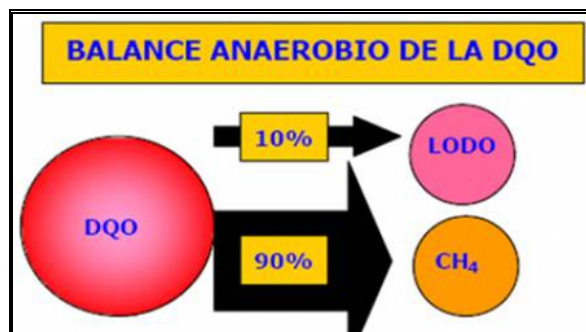
- Las desventajas de este proceso son:
  - Altos costos operacionales
    - Producción de malos olores.
    - Altos gastos de energía.
    - Altas producciones de lodos que necesitan tratamiento para ser utilizados.
    - Uso de químicos.
    - Personal muy capacitado para su operación.
  
- Las plantas de tratamiento de aguas de proceso anaerobio

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica; como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica

permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97 por ciento), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10 por ciento). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

Balance: en el campo del tratamiento de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la DQO (demanda química de oxígeno), la cual mide básicamente la concentración de materia orgánica. La forma de apreciar lo que ocurre con la materia orgánica en el tratamiento anaerobio de aguas residuales, es comparando su balance de DQO con el del tratamiento aerobio.

Figura 12. **Balance Anaerobio**



Fuente: AMSA.



Las ventajas de este proceso son:

- Baja producción de lodos (10 por ciento con respecto a lodos activados)
  - Lodos estabilizados listos para usarse como mejoradores de suelo.
  - Bajo o nulo requerimiento energético.
  - No se necesita adicionar nutrientes.
  - Producción energética (biogás que se puede convertir a energía eléctrica).
  - Altas cargas de trabajo que reducen el volumen de los tanques y requerimientos de espacio.
  - Operación muy sencilla y económica.
  - Arranque muy rápido con previa inoculación.
  - Pulimento del efluente tratado por medio de humedales (ciénega) y/o biofiltros para mejorar la calidad del efluente.
  - Sin malos olores.
  
- Planta de tratamiento de aguas por floculación o coagulación

La coagulación/floculación es un proceso químico unitario empleado en el tratamiento de aguas que persigue alterar el estado de los sólidos filtrables y en suspensión para facilitar su separación mediante sedimentación. Una suspensión coloidal es un conjunto de partículas de pequeña dimensión (del orden de mirialitros y decena de micras) que soportan cargas eléctricas del mismo signo repartidas en su superficie. Estas partículas en suspensión forman parte de las impurezas del agua causantes de turbidez y color (por ejemplo:

arenas, arcillas, cienos, partículas orgánicas...) y se caracterizan por su gran estabilidad, ya que las repulsiones electrostáticas entre los coloides impiden su agregación en partículas mayores sedimentables.

La coagulación es una operación, consistente en neutralizar las cargas eléctricas de una suspensión coloidal. De esta forma dejan de actuar las fuerzas de repulsión y las partículas coloidales comienzan a agregarse. Los productos químicos que suelen utilizarse para favorecer la coagulación de las partículas coloidales suelen ser sales de hierro y aluminio ( $[(Al^2(SO^4)^3)]$ ,  $[(Fe^2(SO^4)^3)]$ ,  $[FeCl^3]$ ).

La floculación es una operación basada en la agregación de las partículas coloidales previamente desestabilizadas en la etapa de coagulación, formando partículas de mayor tamaño (flóculos) que permitan su sedimentación. La formación de estos flóculos se favorece con la adición de polielectrolitos que se caracterizan por moléculas orgánicas poliméricas que son ionizables. Estos compuestos forman puentes entre las partículas, dando lugar a un fenómeno de floculación con partículas de mayor tamaño que resultan sedimentables.

### **3.6.2. Propuesta para la implementación de una planta de tratamiento de aguas en la industria dentro del muestreo que lo requiera**

El trabajo de graduación tiene como principal objetivo demostrar que las industrias pueden generar descargas de aguas debidamente tratadas, con la implementación de una planta de tratamiento de agua adecuada. Para lo cual

se propone que las industrias puedan adquirir una planta, a un precio que represente una inversión moderada, que es de fácil instalación, implementación y operación, con bajos costos de mantenimiento y que permitirá que las industrias puedan lograr los objetivos siguientes:

- Contribuir a restablecer el medio ambiente, específicamente lograr disminuir el grado de contaminación del lago de Amatitlán.
- Cumplir con las normas establecidas de regulación ambiental, con lo cual la empresa estaría ahorrando futuras multas o suspensiones de licencias para operar.

Es importante recordar que una empresa tiene un fin comercial, pero también tiene la obligación moral de contribuir a mejorar el país y sus condiciones ambientales. Para una industria de tipo textil se recomienda el uso de una planta de tratamiento de agua por floculación o coagulación, debido a que se adapta más a las características que se deben tratar en sus aguas residuales, además de que su costo y mantenimiento a través del tiempo es mucho más barato.

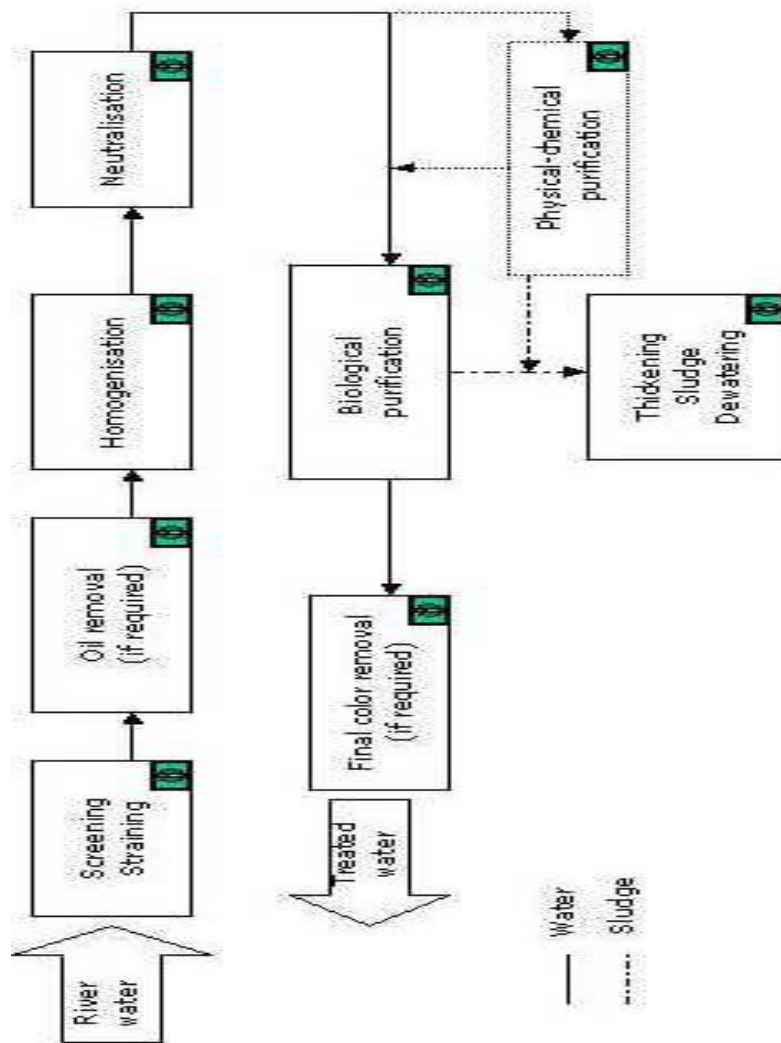
Ya dependerá de cada industria aplicar en el proceso de tratamiento de aguas residuales, implementarle los agentes y características adecuadas que exterminen los factores químicos de contaminación pertinentes a cada tipo de industria, que permitan obtener aguas residuales con un factor de contaminación muy bajo y en el mejor de los casos, sin factores de contaminación. En la industria textil es muy indispensable el uso de agua, debido a que se utiliza dentro todo del proceso de producción. En todas las

fases hay chorros de agua que continuamente van limpiando. (Desde limpieza de materias primas, hasta la obtención del producto final). El agua residual producida tiene que ser limpiada de grasa, aceite, colorantes y otros productos químicos, que se utilizan durante los diferentes pasos de la producción.

El proceso de limpieza seleccionado depende de la clase de agua residual (no cada planta usa el mismo proceso de producción) y tampoco usa la misma cantidad de agua. No todas las plantas utilizan los mismos productos químicos, especialmente compañías con un estándar ambiental especial, intentan mantener el agua limpia en todos los pasos de la producción. Por tanto, los conceptos de tratar el agua pueden diferenciarse de uno a otros. El tratamiento de aguas con diversa clase de agentes contaminantes, es a gran escala, debido a mucha limpieza y los pasos de eliminar implicados.

- Diagrama de procesos de floculación o coagulación en la industria textil, este diagrama muestra de una forma general la descripción los varios pasos en el tratamiento de aguas con procesos de floculación o coagulación en la industria textil.

Figura 13. Diagrama de procesos de floculación o coagulación en la industria textil



Fuente: AMSA.

- Descripción de los pasos para el procesos del tratamiento
  - Tamizado filtrando: este primer paso del tratamiento es quitar partículas pequeñas del agua del procesado. De esta manera el agua queda limpia de fibras, de pelusa y de minutas de algodón. Después de estos filtros, se utilizan de filtros de tambor y de bolsa.
  - Retiro del aceite (si es requerido): en el paso del tratamiento de las lanas, los solventes como el alcohol blanco u otros tienen que ser removidos del agua residual. Con la utilización del aceite u otros solventes orgánicos en el agua, los microorganismos pueden ser exterminados.
    - Homogeneización: este paso es útil para mezclar el agua. Con este paso, la contaminación se distribuye mejor. Esta mezcla hace más fácil el tratamiento contra microorganismos del agua. El resultado es un paso biológico más eficaz de la limpieza.
    - Neutralización: después de la homogeneización, la solución tiene un pH de alrededor 9 a 10. La neutralización del agua se puede hacer por un inyector de flujo de ácido o de aire dependiendo del valor de pH.

- Tratamiento químico – físico: si la concentración de sólidos disueltos es muy alta (los sulfuros, los cromatos, etc.) y/o el agua tiene color, la clase de tratamiento es variada.
- Los procedimientos siguientes son los posibles:
  - Oxidación catalizada de sulfuro
  - Floculación como tal
  - La decolorización con la flotación
  - Purificación biológica: el tipo de tratamiento biológico depende de la concentración y de la clase de agente contaminante. Se utilizan dos pasos biológicos:
    - ✓ Filtro de goteo: se realiza la construcción de un gran depósito que se llena de piezas de plástico, rocas silíceas machacadas u otros materiales que tienen una superficie muy grande. La superficie grande da a los microorganismos una gran facilidad para crecer. El aparato por goteo dispersa el agua residual en el material cargado. El aire es inyectado dentro de la piscina desde la parte de arriba o desde la parte de abajo para dar a las bacterias aeróbicas las correctas condiciones de vida.

Con el crecimiento de las bacterias el desmantelamiento de las partículas disueltas en el agua residual será tratado.

Este fácil paso del tratamiento biológico está reduciendo el DBO entre 50 y el 70 por ciento. Una ventaja es el agua filtrada muy buena sin las partículas que pudieran estorbar a los inyectores del aerosol. Dependiendo de este hecho un proceso de floculación antes del goteo es necesario.

- ✓ Lodo activado: con esta clase de procedimiento el agua residual no tiene que ser floculada porque las bacterias viven en el lodo. El principio es fácil, se llena una piscina donde están viviendo las bacterias con el agua residual. Por el ventilador se sopla aire en el agua para dar a las bacterias las condiciones aeróbicas deseadas. El lodo, junto con las bacterias es el llamado lodo activado. La  $DBO_5$  eliminada alcanza proporciones del 90 al 95 por ciento.

Para descargar el lodo, este tiene que ser espeso. Esto se puede hacer por diversos procedimientos, dependiendo de la cantidad de lodo, que tiene que ser descargado.



- Destintado: sí es necesario, este último paso del tratamiento, quitará el color por un proceso de oxidación y de absorción.

Figura 14. **Planta de tratamiento de agua por floculación**



Fuente: AMSA.

### **3.6.3. Evaluación financiera para la implementación de la planta**

En este tipo de proyecto es muy importante analizar que la implementación de la planta, además de cumplir con los requisitos legales y

ambientales que regulan a las industrias ubicadas en la cuenca del lago de Amatitlán, representa para cada industria una inversión que, si bien su fin específico no es aumentar la rentabilidad de la empresa en forma directa, si lo hará en forma indirecta.

El beneficio económico de la implementación de la misma, es en forma indirecta, toma en consideración el análisis de los beneficios que la industria se asegurará operando dentro de los parámetros ambientales legales establecidos y que, puede significar:

- Un ahorro en futuras multas por inspecciones que detecten que hay contaminación ocasionada por la misma.
- Ante la falta o carencia de licencia ambiental para operar la sanción impuesta puede representar la suspensión de operaciones (que podría representar pérdidas económicas mayores) .

Por lo tanto, la implementación de esta planta sí puede ser evaluada por medio de un análisis de rentabilidad (VAN, TIR y Relación Costo-beneficio) con el enfoque adecuado. Y la inversión que se realice en la misma, sí puede evaluarse en función de rentabilidad, tomando en consideración los gastos que podría ocasionar para la industria, la carencia de la misma.

Sin dejar de mencionar por supuesto, que la industria será apreciada por la sociedad por su función y ejemplo social de contribución al mantenimiento adecuado del medio ambiente del país. En la etapa de implementación de la planta de tratamientos de agua se tendrá que evaluar todos los costos

asociados al proyecto como tal, para realizar un estimado en los costos asociados, realizar una proyección y una planificación de los mismos.

### **3.6.3.1. Valor Actual Neto (VAN)**

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo el proyecto es viable.

La tasa de descuento (TD) con la que se descuenta el flujo neto proyectado, es la tasa de oportunidad, rendimiento o rentabilidad mínima que se espera por ganar.

En este caso se utilizará la tasa de interés pasiva en Guatemala, que es la tasa que los bancos del sistema pagan por el efectivo depositado en sus cuentas.

$$\text{VAN} = \text{Beneficio Neto Actualizado (BNA)} - \text{inversión}$$

De acuerdo al estudio realizado por el gobierno guatemalteco a través del MARN, una planta de tratamiento de agua tiene un costo de \$ 12 000,00 según lo cotizado, a sabiendas que hay que hacer el cálculo en Quetzales, pero dado los programas de transparencia gubernamental se necesitan hacer nuevas cotizaciones a través de Guatecompras.

La tasa de descuento (TD) es del 14 por ciento basándonos en la tasa de interés pasiva en Guatemala. El flujo neto nominal será:

Tabla II. **Tasa de descuento basada en el interés pasiva**

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo de caja neto (\$)	4,000.00	4,000.00	4,000.00	4,000.00	5,000.00

$VAN = 4\,000/(1 + 0.14)^1 + 4\,000/(1+0.14)^2 + 4\,000/(1+0.14)^3 + 4\,000/(1+0.14)^4 + 5\,000(1 + 0.14)^5 - 12\,000$
$VAN = 14\,251,69 - 12\,000$
$VAN = 2\,251,69$

Fuente: elaboración propia.

Con este resultado se establece que el proyecto es rentable y viable debido a que el estudio del VAN es  $> 0$

### 3.6.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la máxima tasa de descuento (TD) que puede tener un proyecto para que sea rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el BNA (Beneficio Neto Actualizado) sea menor que la inversión ( $VAN < 0$ ).

$$VAN = BNA - inversión$$

Tabla III. **Tasa Interna de Retorno**

$0 = 4000/(1 + i)^1 + 4000/(1+i)^2 + 4000/(1+ i)^3 + 4000/(1+ i)^4 + 5000(1 + i)^5 - 12000$ $i = 21 \%$
Tasa Interna de Retorno (TIR) = 21%

Fuente: elaboración propia.

### 3.6.3.3. **Relación beneficio costo (B/C)**

El análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión, con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha, tales como el desarrollo de nuevo producto o la adquisición de nueva maquinaria. Mientras que la relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el valor actual de los ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

$$\text{Beneficio / Costo, B/C} = \text{VAI} / \text{VAC}$$

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

$$\text{B/C} > 1 \rightarrow \text{el proyecto es rentable}$$

Número de beneficiarios = número de habitantes que rodean el lugar

$$B/C = \frac{\text{valor total del proyecto}}{\text{No. de beneficiarios}} = \frac{\$ 37\,000,00}{500 \text{ personas}} = \$ 74 / \text{Beneficiario}$$

#### **3.6.3.4. Costos asociados**

Los costos asociados a los proyectos corresponden a los costos de inversión, y a la mayor utilización de recursos debido al proyecto. También forman parte de los costos, todos aquellos beneficios que se obtienen antes del proyecto y que, posteriormente, con su materialización se dejarán de percibir.

Dentro del proceso de este proyecto, que tiene una duración de 5 años, es sumamente necesario el estudio de los costos que se derivarán del mismo, por lo tanto se realizó el análisis de los mismos a través del tiempo. Se tienen dos opciones, una de ellas es que la industria textil con sus trabajadores se haga cargo del mantenimiento y operación de la misma a través del tiempo y la otra es que se realice un contrato de mantenimiento y operación con la empresa que está facilitando y vendiendo esta planta de tratamientos de agua.

A continuación se presenta la tabla comparativa, la cual detalla las características principales que se necesitan analizar para la tomar la decisión correcta, tanto económica como técnica. Tabla de evaluación de factores que influyen en la toma de decisión de realizar el mantenimiento en forma interna o realizarlo por medio de la contratación del servicio (en forma externa. Ver tabla II.

Tabla IV. **Evaluación de factores**

CARACTERÍSTICAS	Personal de la industria (Mantenimiento interno)	Contrato mantenimiento (Mantenimiento externo)
Pasivo laboral	SI	NO
Nivelación de sueldo	SI	NO
Tiempo de entrenamiento	SI	NO
Costo de capacitación	SI	NO
Mano de obra especializada	NO	SI
Garantía del trabajo	NO	SI
Repuestos	NO	SI

Fuente: AMSA.

Por lo anteriormente evaluado, se puede concluir que es recomendable la contratación del servicio de mantenimiento de manera externa. Debido a las ventajas que se pueden apreciar en la tabla. La empresa que vende la planta de tratamiento de agua ofrece un contrato por mantenimiento y operación con un costo anual de \$ 4 000,00 los primeros cuatro años y el quinto año un costo de \$ 5 000,00. Lo cual da un costo total de \$ 21 000,00 de costos asociados con esta opción.

La otra opción es capacitar y entrenar a personal de la industria textil, lo cual requiere tiempo, recursos y capital, además con esta opción no se tendría

mano de obra especializada ni garantía en los trabajos de mantenimiento y reparación a que se refiera, definitivamente se tendría que nivelar el sueldo de los trabajadores que estuvieran a cargo de la operación y el pasivo laboral se incrementaría. Por lo tanto es más factible y beneficiosa la opción de contratar a la empresa que vende la planta de tratamientos de agua por todo lo antes expuesto.

Tabla V. **Resultado del análisis fisicoquímico del agua residual de la empresa A**

<b>Nombre del contaminante</b>	<b>Resultado del análisis del agua residual de la empresa A de tipo textil</b>	<b>Parámetro<sup>1</sup> establecido</b>
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	<b>1148</b>	<b>100</b>
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	<b>1800</b>	<b>200</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	<b>120</b>	<b>100</b>
Grasas y Aceites (mg/L)	<b>162</b>	<b>10</b>
pH (unidades)	<b>8,75</b>	<b>6</b>
Caudal (L/s)	<b>0,46</b>	<b>0,80</b>
Temperatura (°C)	<b>20,7</b>	<b>20</b>

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y recurso de aguas residuales y la disposición de lodos. p. 3.



Tabla VI. **Resultados del tipo de tratamiento utilizado para cada contaminante del agua residual de la empresa A**

<b>Contaminante</b>	<b>Tipo de tratamiento</b>
Sólidos suspendidos totales	Sedimentación
Demanda química de oxígeno	Procesos aerobios, anaerobios, reactores de aireación, tratamiento con ozono entre otros.
Grasas y aceites	Flotación y absorción
Químicos	Diversos tratamientos

Fuente: elaboración propia

## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **4.1. Diseño de la planta de tratamiento**

En el presente estudio, también se realiza otro planteamiento con una visión macro, que consiste en la implementación de una planta general que sea administrada por AMSA. Esta planta general funcionaría con los ingresos (de tipo no privativos) que AMSA obtendría por medio del cobro mensual que realice a todas y cada una de las industrias de la cuenca del lago.

Estos ingresos permitirían que AMSA realice un adecuado mantenimiento de dicha planta, manteniéndola en óptimas condiciones y, también poder establecer mecanismos de evaluación y control de los niveles de contaminación del agua que desemboca en el lago a un nivel superior y mucho más técnico.

Este macro plan lograría el objetivo de reducir al máximo posible los niveles de contaminación. Asimismo, sería la solución ante el problema que representa que cada industria por individual tenga la conciencia social de cumplir con descargar aguas realmente tratadas, a través de la adquisición de una planta específica.

Según estudios realizados por AMSA, a través de toda la cuenca del lago de Amatitlán, determinaron que la planta ideal que cumpliera con todas las características esenciales, es la planta denominada: Planta de Tratamientos La

Cerra. Esta planta, cuya desembocadura está en el río Villalobos, es administrada por (AMSA) y funciona con una eficiencia al 70 por ciento en la aldea La Cerra, Villa Canales, Guatemala.

Este nivel de funcionamiento podría ser elevado con la recaudación del cobro mensual que AMSA pueda realizar a cada industria de la cuenca, siendo de esta forma una planta financieramente eficiente que pueda generar independientemente sus propios recursos y cumplir los objetivos de: incorporar a todas las industrias de la cuenca al plan indicado y reducir los niveles de contaminación del lago.

Se cuenta el apoyo indirecto de donaciones del extranjero, principalmente de Japón, Corea y México a través del voluntariado, que tiene como objetivo principal la asesoría profesional y técnica para los diversos procesos que actualmente AMSA está desarrollando y los que aun se encuentran como proyectos, pero estos fondos no son suficientes para darle el adecuado mantenimiento a la misma.

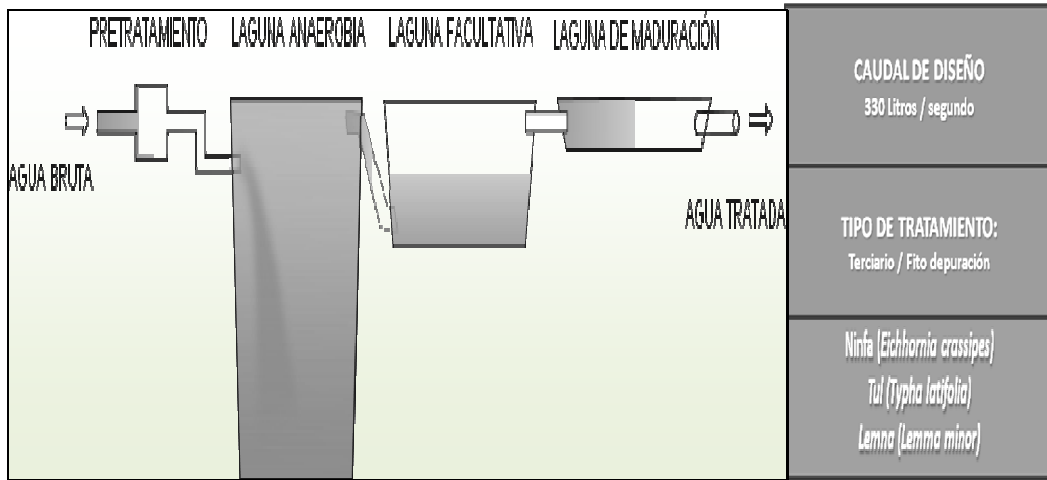
Por lo cual, hay que dejar establecido que para efectos del presente punto, y de acuerdo a lo determinado por AMSA esta es la planta ideal con la que podría implementarse el macroplan expuesto en los párrafos iniciales del presente punto. Esta planta fue inaugurada el 4 de diciembre de 2005, con un costo de 38 millones de quetzales en su fase inicial y fue en el gobierno de Óscar Berger quien dio por inaugurado el megaproyecto. Con esta propuesta, llevando a un plan a más largo plazo, el lago podría convertirse en una reserva para el futuro del país e incentivar el turismo.

- Características de la planta de tratamientos La Cerra

Generalmente, la funcionalidad de esta planta de tratamiento de aguas en el río Villalobos, donde se descargan aguas negras y residuales de un número indeterminado de afluentes y el mismo está sumamente contaminado, debe tener características propias que se adecuen y adapten a su geografía y ecosistema, las cuales están determinadas por un estudio topográfico, de planimetría el cual realizó AMSA (es el conjunto de trabajos que se realizan para la obtención de todos los datos necesarios para representar gráficamente la superficie de la tierra, partiendo de un punto de referencia para su orientación) y altimetría (son los trabajos necesarios para representar sobre el plano horizontal la tercera dimensión sobre el terreno, definiendo las diferencias de nivel existentes entre los puntos de un terreno o construcción, para ello es necesario medir distancias verticales, ya sea directa o indirectamente, a todo este procedimiento se le conoce con el nombre de nivelación), donde se determinó que la mejor ubicación para su desempeño y eficiencia máxima es donde actualmente se encuentra la planta de tratamiento La Cerra. La planta La Cerra es una planta de tratamientos de tipo terciaria por fitodepuración.

En la planta de tratamiento La Cerra de Villa Canales, la depuración de las aguas residuales se lleva a cabo en una fase secundaria y terciaria descrita posteriormente, con plantas acuáticas flotantes, que es uno de los sistemas más utilizados y consiste en estanques o canales de profundidad de 2,5 metros.

Figura 15. **Etapas de la planta de tratamientos La Cerra**



Fuente: AMSA.

Estos estanques son alimentados por bombeo con las aguas provenientes del río Villalobos que tiene un contenido considerable de residuos domésticos e industriales de los municipios de Guatemala, Villa Nueva, San Miguel Petapa y Villa Canales.

Figura 16. **Pozo de bombeo en planta de tratamientos La Cerra, Villa Canales**



Fuente: AMSA.

Según el Laboratorio de Aguas y Suelos de AMSA, esta planta de tratamientos de aguas funciona con una eficiencia del 70 por ciento, porcentaje con el cual se logra tratar tanto desperdicios domésticos, aguas negras, aguas residuales con altos índices de sustancias químicas y sólidos varios.

Figura 17. **Río Villalobos, contaminante del lago de Amatitlán; arrastra desechos de la población y la industria**



Fuente: AMSA.

- La Cerra, planta de tratamientos de tipo terciaria por fitodepuración

La fitodepuración es una técnica de purificación caracterizada por tratamientos de tipo biológicos, en el cual las plantas creciendo en agua saturada de nutrientes desarrollan un papel clave y directo sobre las bacterias que colonizan el sistema de raíces y al rizoma. Estos tratamientos son vistos como alternativas y como apoyo a los sistemas tradicionales basados en procesos biológicos y químicos y reacciones físicas.

Con los sistemas de fitodepuración, los contaminantes son removidos a través de una combinación de procesos químicos, físicos y biológicos. Los procesos más efectivos son: sedimentación, precipitación, adsorción, asimilación de plantas y actividad microbial. La tecnología de fitodepuración da la habilidad de adsorción al medio al tratamiento depurativo tradicional de oxidación biológica (acción de filtrado por la raíces de las plantas que, además proveen una gran área superficial apta para el desarrollo de masas microbiológicas envueltas en el tratamiento) y la remoción de nutrientes debido a su crecimiento.

El tratamiento terciario, de carácter físico-químico o biológico de La Cerra, desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características. Si se emplea intensivamente puede lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización (reciclaje de efluentes).

La planta de tratamiento posee tres lagunas anaeróbicas. En la laguna No. 3 se desarrolla la especie flotante jacinto acuático y el sistema de canales o biofiltros (tres sistemas con 6, 8 y 12 canales respectivamente) donde se encuentran las plantas acuáticas jacinto acuático y tul. Para evaluar la distribución de los metales dentro de la planta se hizo un seccionamiento de la misma, separando las fracciones hoja y raíz para cada macrófita.

La materia orgánica, también se encuentra presente en las aguas residuales tratadas en la planta La Cerra; gran parte de esta la constituyen las



heces y la orina. A esto se debe el hecho que las aguas sin tratar presenten una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que en otras palabras, es la cantidad de oxígeno, en mg/lit., que hace falta para descomponer (oxidar) las materias orgánicas del agua residual, con ayuda de las bacterias. Con la utilización de los distintos métodos de tratamientos se busca disminuir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Con el tratamiento que se da en la laguna facultativa en la planta de tratamiento La Cerra se obtiene una sensible separación de sólidos, se disminuye la demanda bioquímica de oxígeno y hay una reducción de organismos coniformes. Esto provoca los siguientes beneficios:

- Conservación de fuentes de abastecimiento de agua potable
- Se evitan enfermedades infecciosas
- No se contaminan centros de recreación como lagos, ríos y playas

En el complejo sistema de la planta de tratamiento La Cerra, administrada por AMSA, se pueden identificar tres procesos fundamentales para el buen funcionamiento de la planta; los procesos físicos, los cuales consisten en la separación de sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales y su estabilización, la remoción de partículas flotantes, la retención de partículas de gran tamaño, etc.; los procesos químicos, los cuales consisten en la separación o transformación de las sustancias sedimentables, flotantes y disueltas mediante el uso de sustancias químicas, por ejemplo, la utilización de algún desinfectante; y los procesos biológicos, en donde intervienen ciertos

microorganismos para la oxidación y mineralización de sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales.

Cada etapa en el tratamiento de aguas residuales tiene una función específica que contribuye al mejoramiento de la calidad del afluente respecto a su condición inicial al ingresar al ciclo de la planta, que va desde el proceso más sencillo hasta el más complicado. Esto exige que el proceso de la planta La Cerra se separe en etapas, el criterio a utilizar para la selección y diseño de las respectivas unidades que se proponen, depende directamente de la etapa de tratamiento.

Todo proceso de tratamiento contiene varias etapas, las cuales dependen una de la otra, en el ciclo de tratamiento; estas etapas son:

- Preliminar
  - Primaria
  - Secundaria
  - Terciaria
- 
- Etapa preliminar

La planta La Cerra está diseñada para tratar un volumen de agua constante con un caudal de 300 litros por segundo, lo cual debe adaptarse a que el agua residual producida por una cuenca no es constante. Hay horas, generalmente durante el día, en las que el volumen de agua producida es mayor, por lo que deben instalarse sistemas de regulación de forma que el caudal que ingrese al sistema de tratamiento sea uniforme.

Debe cumplir dos funciones:

- Medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta;
- Extraer los sólidos flotantes grandes, la arena y la grasa. Asimismo, es impresionante ver las cosas que el agua residual contiene: palos, hojas, botellas plásticas, granos, etc., por lo que es necesario retirarlas para que el proceso pueda efectuarse normalmente.

Las estructuras encargadas de esta función son las rejillas, tamices, trituradores, desgrasadores y desarenadores. En esta etapa también se realiza la preaireación, cuyas funciones son:

- Eliminar los compuestos volátiles presentes en el agua residual, que se caracterizan por ser malolientes;
  - Aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores.
- Etapa primaria

La planta La Cerra tiene como objetivo remover los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple. Para complementar este proceso se pueden agregar compuestos químicos con el objetivo de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide.

Esta etapa de tratamiento incluye: la eliminación de arenillas, la filtración, la floculación y la sedimentación. Las estructuras encargadas de esta función son los tanques de sedimentación primarios o clarificadores primarios. En esta etapa se remueve por precipitación alrededor del 60 al 70 por ciento de los sólidos en suspensión.

- Etapa secundaria

En la planta La Cerra, esta etapa de tratamiento implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de lodo biológicamente activo, que seguidamente es filtrado. Tiene como objetivo remover los sólidos en solución y en estado coloidal mediante un proceso de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual más los que se desarrollan en el tanque secundario.

Los microorganismos de este tanque pueden estar en suspensión en el agua (procesos de crecimiento suspendido), adheridos a un medio de suspensión (procesos de crecimiento adherido) o distribuidos en un sistema mixto (procesos de crecimiento mixto). Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de lodos activados, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de lodos.

- Etapa terciaria

Tiene como objetivo remover algunos contaminantes específicos presentes en el agua servida tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en curso de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática la que agota el oxígeno y mata la fauna existente en el sector.

En este tratamiento se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno y métodos físicos y químicos, tales como: la filtración granular y la adsorción por carbono activado. No todas las plantas tienen esta etapa, ya que dependerá de la composición del agua servida y el destino que se le dará. AMSA, en su afán de combatir el alto índice de contaminación del lago de Amatitlán, realizó los estudios y análisis correspondientes para colocar una planta de tratamiento de aguas que en su diseño abarcara el mayor receptor de aguas servidas dentro de la cuenca y en el mismo lago de Amatitlán, concluyendo en las características y especificaciones que tiene en la actualidad la planta de tratamiento de aguas denominada por su ubicación como La Cerra.

#### **4.2. Localización de la mejor ubicación para la implementación**

La mejor ubicación para una planta de tratamientos para el lago, es en donde actualmente se encuentra la planta La Cerra. Esto fue determinado de acuerdo a estudios realizados por AMSA. Concretamente, la misma se encuentra en el municipio de Villa Canales al pie del accidente geográfico conocido como La Cerra, aproximadamente a 4 kilómetros hacia el sur de la

cabecera municipal sobre la trayectoria del río Villalobos. Se llega al área a través de la ruta departamental que conduce de Villa Canales hacia el relleno del ferrocarril en el lago, aproximadamente 3 kilómetros asfaltados y un kilómetro de terracería.

La razón fundamental por la que AMSA centró su planta principal en esta localización, es debido a que La Cerra es una aldea que se encuentra en la desembocadura al lago de Amatitlán del río Villalobos que es su principal afluente de aguas servidas y su principal contaminador, río que se encarga de transportar la mayor parte de contaminantes de todo tipo al lago de Amatitlán y su cuenca.

El área del proyecto se encuentra ubicada en la parte baja de la cuenca localizado dentro del área de aluvión. La formación de estos suelos es sumamente reciente, producto de las actividades antrópicas que se realizan en la parte alta de la cuenca y cuyos sedimentos son arrastrados por las corrientes pluviales, principalmente en los meses lluviosos y depositados a orillas del lago compuestos por limos y arenas volcánicas, principalmente. Estos suelos tienen la característica de ser poco cohesivos y permeables, ricos en nutrientes, producto de la actividad agrícola urbana e industrial, por lo que la vegetación crece de manera exuberante. Cabe mencionar que la planta de tratamientos de aguas La Cerra de AMSA inicia desde la aldea La Cerra y finaliza metros antes de la desembocadura del río Villalobos al lago de Amatitlán, con un aproximado de 2 kilómetros de longitud y tratamientos.

- Mapa de ubicación de la planta de tratamiento

Figura 18. **Planta de tratamiento La Cerra ubicada en el municipio de Villa Canales, departamento de Guatemala**



Fuente: AMSA.

En el medio ambiente natural, cuando interacciona el agua, el suelo, las plantas y microorganismos y la atmósfera, se producen procesos físicos, químicos y biológicos. Los sistemas de tratamiento se diseñan para aprovechar estos procesos con el objetivo de proporcionar tratamiento al agua. Los procesos que intervienen en los sistemas de tratamiento natural incluyen muchos de los utilizados en las plantas de tratamiento como:

- Sedimentación.
- Filtración.
- Transferencias de gases.
- Adsorción.
- Intercambio iónico.
- Precipitación química.
- Conversión y descomposición biológica.
- Procesos propios como la fotosíntesis, la foto-oxidación, y la asimilación de las plantas.

#### **4.3. Mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas**

En la entrevista que se le realizó al arquitecto Roberto Lobos, jefe de la planta La Cerra, se logró determinar que el mantenimiento de la misma, se realiza de una manera constante y diaria en actividades básicas como: el chapeo y la limpieza de los aireadores; también se remueve la ninfa a través de una retroescabadora y un minicargador. Lo ideal, manifiesta el arquitecto, sería que AMSA contara con el presupuesto adecuado para que las herramientas para el mantenimiento de la misma fuera el adecuado.

Se realiza el mantenimiento de forma mínima diaria y un mantenimiento más técnico de forma mensual, con personal altamente capacitado, contratado por AMSA. Dentro del proceso de rescate del lago de Amatlán y su cuenca cabe mencionar lo que está realizando AMSA.



- Instaló dos biobardas, en forma transversal, las cuales tiene una tela geotextil que deja pasar el agua, pero retiene la *microcystis* o cianobacteria del lago.
- Ingenieros de AMSA diseñaron una balsa que atrapa la cianobacteria, para evitar el impacto visual negativo y como tal la pureza del agua. Se trata de un programa piloto, cada día se extraen 125 gramos de cianobacterias.

¿Cómo enfrenta AMSA el problema de la sedimentación en el lago?

- Hacen dragado continuo, y calculan que si AMSA no hiciera ese trabajo, el lago perdería 10 centímetros de profundidad al año.

El lago por sí mismo mueve el agua para oxigenarla, y lo que hacen los aireadores es acelerar este proceso.

- Hay 40 aireadores instalados en el espejo del lago; se tiene planificado instalar más, pero los recursos son pocos y se ha pensado en pedir ayuda a los dueños de chalet, para que contribuyan por lo menos al pago de la electricidad de los equipos.

Tabla VI. **Aspectos relevantes en el mantenimiento de la planta de tratamientos La Cerra**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>
Personal	Mano de obra directa no calificada para diversos trabajos agrícolas y acuáticos
De operación	Personal técnico altamente capacitado
De seguridad	Agentes de seguridad que resguardan el área
Materiales e insumos	Accesorios e insumos que necesita la planta de tratamientos para su adecuado funcionamiento
Energía para aireación y bombeo	Personal de la Empresa Eléctrica cuando se preste un incidente o mensualmente como prevención
Electricidad y agua potable	Personal de la Empresa Eléctrica y la municipalidad
Servicios por mantenimiento de equipo	Mantenimiento externo para los aireadores y el equipo para bombeo mensual
Servicio por mantenimiento de áreas verdes	Mano de obra directo no calificado de la empresa diario.

Fuente: AMSA.

Esta tabla describe las principales funciones que se realizan para darle mantenimiento a la misma y la descripción del personal que la realiza.



## **5. SEGUIMIENTO O MEJORA CONTINUA**

### **5.1. Indicadores de contaminación en las aguas que se vierten al río Villalobos**

Al lago de Amatitlán llegan 60300 metros cúbicos al día de aguas servidas y 1 550 toneladas de sólidos de sedimentos, los que son producidos, principalmente por 1 102 000 personas aproximadamente, además de 655 industrias, 23 fincas, un ingenio de azúcar y 440 chalets. Esto, sumado a distintos factores, como un conjunto de plantas inservibles de tratamiento de aguas y una deforestación masiva en el área de influencia, ha provocado tres grandes impactos: (reporte histórico del análisis físico-químico (1997-2008) realizado por AMSA).

- Una acumulación de compuestos tóxicos por contaminación química, entre ellos metales pesados como: plomo, mercurio, cobre y cromo; biocidas tales como: los pesticidas clorados y los herbicidas y los residuos de combustión o de hidrocarburos.
- Una proliferación de agentes patógenos, como virus, bacterias, hongos y parásitos, que confieren al lago un ambiente insalubre.
- La eutrofización (se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático) de sus aguas, posiblemente el más importante desde un punto de vista

ecológico, debido a la cantidad de tiempo necesario para su recuperación.

De acuerdo al Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, (Acuerdo Gubernativo 236-2006 ) se puede concluir, que los principales contaminantes, así como sus parámetros son los siguientes:

Tabla VII. **Análisis fisicoquímico del agua residual de la empresa A**

<b>Nombre del contaminante</b>	<b>Parámetro establecido</b>
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	<b>100</b>
Demanda química de oxígeno (mg/L)	<b>200</b>
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	<b>100</b>
Grasas y aceites (mg/L)	<b>10</b>
pH (unidades)	<b>6</b>
Caudal (L/s)	<b>0,80</b>
Temperatura (°C)	<b>20</b>

Fuente: Acuerdo gubernativo 236-2006 Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y la Disposición de Lodos, p. 3.

## **5.2. Evaluación de la aplicabilidad de las leyes ambientales en el país**

Es sumamente alarmante el alto índice de contaminación en general, que recibe el río Villalobos a través de los efluentes que vierten sus aguas servidas en el mismo. Lastimosamente las leyes y normativas existentes pero no vigentes (por su no aplicabilidad), no coadyuvan a disminuir los índices de contaminación del lago. Actualmente es inexistente el monitoreo y constante evaluación en plan hormiga por parte de los entes que tienen jurisdicción y autoridad (MARN, AMSA) sobre el lago de Amatitlán y su cuenca.

En Guatemala, no existe una ley general sobre el agua y desde hace ya 50 años, que se vienen presentando diferentes proyectos de ley, los cuales no han tenido el impacto deseado en el organismo legislativo, debido a los intereses de los diferentes sectores involucrados, lo cual se traduce en poco interés a nivel político de dar respaldo y vigencia a iniciativas de este tipo. Existen varias leyes sectoriales acerca de temas hídricos, pero con lo que se tiene que enfrentar es con la estructura institucional, pues se traduce en un obstáculo fuerte para la gestión integral del recurso hídrico en Guatemala. Esta estructura está sumamente fragmentada y se constituye en vulnerable frente a los cambios políticos que se generan cada cuatro años con la elección del nuevo gobierno<sup>3</sup>.

Dentro del contexto legal que da el respaldo para la actuación de los diversos sectores del país en relación al tratamiento de las aguas del lago de Amatitlán y protección del lago se encuentran las siguientes:

---

<sup>3</sup> COLINDRES, SEGURA de, Miriam. *Legislación vigente en Guatemala en el tema de los recurso hídricos*.2008, p. 14.

- Constitución Política de la República de Guatemala

En el artículo 97. Medio ambiente y equilibrio ecológico. Literalmente expresa que: "El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación".

Artículo 121. Bienes del Estado, expresa que, "son bienes del Estado: a) Los de dominio público; b) Las aguas de la zona marítima que ciñe las costas de su territorio, los lagos, ríos navegables y sus riberas, los ríos, vertientes y arroyos que sirven de límite internacional de la república, las caídas y nacimientos de agua de aprovechamiento hidroeléctrico, las aguas subterráneas y otras que sean susceptibles de regulación por la ley y las aguas no aprovechadas por particulares en la extensión y término que fije la ley.

Artículo 122. Reservas territoriales del Estado. "El Estado se reserva el dominio de una faja terrestre de tres kilómetros a lo largo de los océanos, contados a partir de la línea superior de las mareas; de doscientos metros alrededor de las orillas de los lagos; de cien metros a cada lado de las riberas de los ríos navegables; de cincuenta metros alrededor de las fuentes y manantiales donde nazcan las aguas que surtan a las poblaciones".

Artículo 126. Reforestación. "Se declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley

determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo las resinas, gomas, productos vegetales silvestres no cultivados y demás productos similares y fomentará su industrialización. La explotación de todos estos recursos, corresponderá exclusivamente a personas guatemaltecos, individuales o jurídicas. Los bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos y en las cercanías de las fuentes de aguas, gozarán de especial protección".

Artículo 127. Régimen de aguas. "Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia".

En el 2006 se publicó el Acuerdo Gubernativo número 236-2006, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, con el cual se establece el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, siendo a la fecha el único documento o ley específica sobre aguas.

Artículo 128. Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos. "El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicio de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso".



Motivados por este artículo de la Constitución Política de la República, es que inicia el Programa de Investigación en Hidrología Forestal que el INAB ha encaminado durante los últimos años y que ha sistematizado a partir del 2005.

El programa, parte de la identificación a nivel cartográfico de tierras forestales de captación y regulación hidrológica y con el mismo intenta proyectar inversiones y formular instrumentos de política orientados a la restauración y protección del vínculo hidrológico forestal en estas tierras. El enfoque es la protección y conservación de tierras con aptitud preferentemente forestal dentro de las cuales hay presencia de bosques o bien son prioritarias de recuperar, reconociendo tácitamente una relación estrecha de bosque y agua. En esta línea se enmarca el proyecto de recuperación del lago de Amatitlán<sup>4</sup>.

- Ley del Organismo Ejecutivo. Decreto 114 - 97 del Congreso de la República

En el Artículo 29. Adicionado por el artículo 3 del decreto número 90 - 2000 del Congreso de la República. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) le corresponde formular y ejecutar las políticas relativas a su ramo: cumplir y hacer que se cumpla el régimen concerniente a la conservación, protección, sostenibilidad y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales en el país y el derecho humano a un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado,

---

<sup>4</sup> Universidad Rafael Landívar, *Situación de recurso hídrico en Guatemala.*: 2007; p. 118.

debiendo prevenir la contaminación del ambiente, disminuir el deterioro ambiental y la pérdida del patrimonio natural.

Cumpliendo con este mando es que el MARN ha implementado una serie de políticas que permitan la conservación de la riqueza biótica existente en el país en los departamentos.

- Decreto 68-86 “Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente” del Congreso de la República.

Artículo 1. Dice que el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente.

Artículo 6. El suelo, subsuelo y límites de aguas nacionales no podrán servir de reservorio de desperdicios contaminantes del medio ambiente o radioactivos. Aquellos materiales y productos contaminantes que estén prohibido su utilización en su país de origen no podrán ser introducidos al territorio nacional, salvo para uso científico, tecnológico o comercial, pero en todo caso necesitan autorización de conformidad con las leyes que rijan la materia.

Pese a que este decreto existe 1986, diversas industrias han hecho caso omiso a ambos artículos, ya que lanzan sus desechos químicos a los diversos ríos existentes. Ejemplo de ello es la contaminación que el lago de Amatitlán

experimenta, debido a que empresas de los alrededores de mismo, lanzan sus desechos a sus subcuencas.

Artículo 12. Son objetivos específicos de la ley, los siguientes: a) La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general; b) La prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que origine deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, y excepcionalmente, la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común, calificados así, previos dictámenes científicos y técnicos emitidos por organismos competentes; c) El uso integral y manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos; d) Salvar y restaurar aquellos cuerpos de agua que estén amenazados o en grave peligro de extinción.

Cumpliendo con este artículo, se puede mencionar la creación de las autoridades de lagos existentes en el país, es decir, la Autoridad del Lago de Amatitlán (AMSA), cuyo objetivo central de creación es la recuperación y saneamiento de la riqueza hídrica del mismo.

Artículo 13. Para los efectos de la presente ley, el medio ambiente comprende los sistemas: atmosférico (aire); hídrico (agua); lítico (rocas y minerales); edáfico (suelos); biótico (animales y plantas); elementos audiovisuales y recursos naturales y culturales.

Artículo 15. El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para:

- a) Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento, mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas.
- b) Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental.
- c) Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental y fijar los requisitos.
- d) Determinar técnicamente los casos en que debe producirse o permitirse el vertimiento de residuos, basuras, desechos o desperdicios en una fuente receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua.
- e) Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales y oceánicas, que constituyen la zona económica marítima de dominio exclusivo.
- f) Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas.

- g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies.
- h) Propiciar en el ámbito nacional e internacional las acciones necesarias para mantener la capacidad reguladora del clima en función de cantidad y calidad del agua.
- i) Velar por la conservación de la flora, principalmente los bosques, para el mantenimiento y el equilibrio del sistema hídrico, promoviendo la inmediata reforestación de las cuencas lacustres, de ríos y manantiales.
- j) Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala.
- k) Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.

Como se puede observar, sí existen leyes que regulan y protegen los recursos naturales del país en general y en forma específica del lago.

También se han creado instituciones cuya finalidad fue velar porque estas leyes se cumplieran, y se sancionara a quienes las violaran. Se podría decir, teóricamente hablando, que la protección al lago en términos legales está estructurada de alguna forma, no como la óptima, pero si con un esquema general que podría estarse aplicando desde hace mucho tiempo, y que, de haber sido así, ya la contaminación del lago se hubiera logrado disminuir en

algún grado, y lo más importante: se habría detenido el proceso de contaminación.

Sin embargo, se está ante la difícil situación que genera un círculo vicioso, que no permite disminuir los niveles de contaminación del lago, que se podría resumir así: mientras instituciones como el MARN Y AMSA no cuenten con los recursos necesarios para poder fiscalizar, monitorear y sancionar a las industrias que se encuentran en la cuenca del río Villalobos, y mientras las mismas no asuman el rol o finalidad para el que fueron creadas, de nada servirá que existan y se sigan creando más instituciones, y más normativas que regulen solo en forma teórica la protección del mismo.

### **5.3. Control periódico de las industrias en cuanto a la calidad del agua que se vierte al lago de Amatitlán y su cuenca**

El Ministerio de de Ambiente y Recursos Naturales, AMSA y las municipalidades de los municipios circundantes son los responsables y/o encargados del control periódico del agua que se vierte en el lago de Amatitlán y su cuenca como lo establecen los siguientes literales copiados y comentados a continuación.

- a) Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Artículo 1. Objeto. El objeto del presente reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través

del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

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

También es objeto del reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

- b) Creación de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas. Acuerdo Ministerial 239-2005

Las funciones de la Unidad de Recursos Hídricos y Cuencas serán las siguientes:

- a) Revisar y evaluar los sistemas de aguas servidas o contaminadas en general.

- b) Realizar el monitoreo, vigilancia y control de personas individuales y jurídicas que descarguen aguas residuales.
- c) Recibir la caracterización, muestreo y análisis de las descargas de aguas residuales, y el informe de avance del plan de implementación para las obligaciones impuestas.
- d) Realizar los muestreos aleatorios de los resultados presentados por los entes generadores para el control del uso de las aguas residuales.
- e) Investigar y dictaminar sobre los niveles de contaminación hídrica, ríos, lagos y mares.
- f) Realizar inspecciones, vigilancia y monitoreo de campo, para los casos de aprovechamiento.
- g) Promover el uso integral y manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas.
- h) Formular la política para el manejo de recursos hídrico en lo que corresponde a contaminación, calidad y renovación de dicho recurso.
- i) Extender las licencias a las personas individuales y jurídicas que efectúen descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.



- j) Extender licencias para el reuso de aguas residuales.
- k) Emitir dictámenes a las distintas municipalidades, para la disposición de lodos resultantes de los diversos procesos de tratamientos de estabilización y disposición de estos en sitios adecuados.
- l) Rectificar los datos declarados por los entes generadores de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.
- m) Inscribir a los entes generadores de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.
- n) Autorizar e inscribir los aprovechamientos de recurso hídrico.
- o) Registrar las modificaciones en uso y aprovechamiento de recurso hídrico.
- p) Actualizar las autorizaciones y concesiones del recurso hídrico previas a este acuerdo.
- q) Realizar capacitación a nivel nacional sobre el tema de recursos hídricos y cuencas hidrográficas.
- r) Emitir dictámenes técnicos sobre temas vinculados a los recursos hídricos.

- s) Representar al ministerio en eventos nacionales e internacionales en temas relacionados con recursos hídricos.
- t) Ser el punto focal con las autoridades de los lagos y cuencas hidrográficas.
- u) Socializar la política hídrica y el reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores.
- v) Planificar las actividades de la unidad.

La creación de esta unidad, en gran medida es motivada por la existencia de autoridades de cuencas a nivel regional, razón por la cual Guatemala, necesita la misma y con ello estar acorde con las exigencias internacionales y cumplir con los diversos compromisos en materia al manejo de las cuencas nacionales como transfronterizas.

- c) Punto resolutivo del Congreso de la República. No. 8 - 2007

Este punto tiene por finalidad instar al Organismo Ejecutivo para que por intermedio del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales dicte e implemente la política hídrica nacional, la cual debe ser ampliamente difundida y socializada a todo nivel a través de una campaña de educación hídrica, con el propósito que la sociedad guatemalteca en su conjunto la adopte como parte de su qué hacer diario.

Esta política debe hacer énfasis en la protección y conservación de las zonas de recarga hídrica y en el uso racional del agua, en la protección de las fuentes de agua y en el desarrollo de una cultura hídrica nacional.

Instar al Organismo Ejecutivo para que ponga en operaciones y formalice la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), como un órgano de coordinación interinstitucional del sector público, bajo la rectoría del Ministerio Ambiente y Recursos Naturales.

d) El Código Municipal Decreto 12 - 2002

El municipio es el prestador de servicios públicos esenciales, entre estos, el de agua potable y aguas residuales. El código le atribuye la competencia de su establecimiento, planificación, reglamentación, programación, control y evaluación, manda formen parte de los planes de ordenamiento territorial municipal y norma deben destinarse fondos municipales para los servicios, Artículo 234 de la Constitución Política de la República; y,68 (a), 130, 142 (b) y (d) del Código Municipal Decreto 12 - 2002 del Congreso de la República.

Analizando el estado actual del lago, sabiendo la importancia de este recurso hídrico, se pone en tela de juicio el interés por la conservación de un ambiente sano e inocuo y la aplicabilidad de las leyes y normas que determinan el control en las descargas de aguas servidas al lago de Amatitlán y su cuenca por parte de los responsables y/o encargados de las mismas.

Es importante que las instituciones respectivas deben tomar en cuenta lo siguiente:

- No utilicen las herramientas legales con las que cuentan actualmente, independientemente que sean estas óptimas o no.
- No cumplan con el objetivo y funciones para las que fueron creadas.
- Carezcan de presupuesto que permita contar con los recursos financieros para poder realizar la fiscalización y control periódico de las industrias de la cuenca del lago.
- Siguen sin implementar un plan de aplicación de sanciones a dichas industrias.
- Se concluye que, el lago seguirá aumentando sus niveles de contaminación y estará en peligro y constante deterioro el medio ambiente del país.



## CONCLUSIONES

1. Se estableció que la mayor fuente de contaminación del lago de Amatitlán, proviene de las industrias de la cuenca del río Villalobos.
2. Actualmente, el Estado de Guatemala a través del Ministerio de Desarrollo del Ambiente y AMSA no están haciendo uso de las herramientas legales para implementar el control de las aguas de dichas industrias y están dejando de sancionar a las mismas.
3. Si las autoridades no toman acciones prontas, el lago podría generar niveles de contaminación cuyas consecuencias serán irreversibles.
4. Si el lago fuera protegido, podría ser una fuente de ingresos de turismo nacional y extranjero.



## RECOMENDACIONES

1. Poner en marcha el plan individual en donde AMSA requiere a cada industria de la cuenca una planta de tratamiento individual o implementar el plan macro, para que AMSA pueda realizar un cobro mensual a las industrias de la cuenca y de esta forma obtener ingresos para mantener adecuadamente la planta con la que se cuenta actualmente o con otra que se compre en el futuro.
2. Que las autoridades sancionen monetariamente y con suspensiones a las industrias que se encuentren violando las disposiciones actuales, que norman la protección al lago.
3. Realizar una campaña de tipo social – ambiental en donde el público o la sociedad guatemalteca se entere de cómo las industrias de la cuenca del río contaminan al lago de Amatitlán. De esta forma, la sociedad colaboraría con presionar a las industrias a que detengan la contaminación.
4. Recurrir a instituciones extranjeras protectoras del medio ambiente que puedan proporcionar fondos a AMSA y que financien una campaña publicitaria, para que las industrias y todos los guatemaltecos tengan conciencia social.





## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR LARA, María Dina. *El régimen legal del recurso hídrico en la ley del medio ambiente en El Salvador*: Universidad Francisco Gavídia, San Salvador El Salvador, Facultad de Jurisprudencia y Ciencias Sociales, Escuela de Ciencias Jurídicas, 2003. 380 p.
2. \_\_\_\_\_. *Educación ambiental y concientización ciudadana sobre el saneamiento y rescate del lago de Amatitlán*. Guatemala: José de Pineda Ibarra. 2008. 60 p.
3. AGUILAR ROJAS, Grethel. IZA, Alejandro. *Derecho ambiental en Centroamérica*. UICN Serie de Política y Derecho Ambiental No. 66 Tomo I y II. UICN. Gland, Suiza en colaboración con el Centro de Derecho Ambiental. Bonn, Alemania y la Oficina Regional, San José, Costa Rica, 2009. 630 p.
4. \_\_\_\_\_. *La legislación del agua en Centroamérica: comentarios sobre el cumplimiento de los principios y fundamentos sobre el manejo del recurso hídrico*. Global Water Partnership, Centro América, 2004. 380 p.
5. Asamblea General de las Naciones Unidas. *Carta mundial de la naturaleza*. Publicación del PNUD, 1982. 24 p.

6. Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán. *Perfil II, Proyecto: Programa de saneamiento y manejo sustentable de la cuenca del lago de Amatitlán*. Guatemala: AMSA, 2000. 40 p.
7. Banco Interamericano de Desarrollo. *Buenas prácticas para la creación, mejoramiento y operación sostenible de organismos y organizaciones de cuenca*. Guatemala; BID, 2005. 230 p.
8. Centro de Acción Legal Ambiental y Social de Guatemala. *Ordenanza 01-2002 de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán*. Gobernación de Guatemala. CALAS, 2002. 85 p.
9. COLINDRES DE SEGURA, Miriam. *Legislación vigente en Guatemala en el tema de los recurso hídrico*. El Salvador: Ediciones pirámide. 2008. 76 p.
10. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. *Estrategia centroamericana para la gestión integrada de los recursos hídricos*. El Salvador: CCAD, 2006. 80 p.
11. *Convenio Centroamericano del Agua*. San José de Costa Rica. Congreso de la República de Costa Rica. 2006.
12. *Declaración de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano*. Publicación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Suecia: PNUMA, 1972. 96 p.

13. *Declaración de río sobre el medio ambiente y el desarrollo.* Departamento de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas. Río de Janeiro, Brasil: 2009. 95 p.
14. FANCA. Red Centroamericana de Acción del Agua. *Proyecto sobre formación y generación de capacidades sobre manejo comunitario del agua en Centro América.* San José, Costa Rica; FANCA, 2008. 55 p.
15. Global Water Parthnership. *Capacitación a gerentes de organismos de cuencas hidrográficas en Centroamérica: hacia la gestión integrada del recurso hídrico.* Panamá: GWP, 2003. 120 p.
16. Guatemala. Congreso de la República. Acuerdo Gubernativo No. 189-99, del presidente de la república. *Reglamento de funcionamiento de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.* Guatemala, 1999. 18 p.
17. \_\_\_\_\_. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, del presidente de la república. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.* Guatemala: 2006.
18. \_\_\_\_\_. Agencia de Cooperación Internacional del Japón. *La cooperación japonesa para Guatemala.* Guatemala: JICA, 2005. 196 p.
19. \_\_\_\_\_. *Comisión de ambiente fiscaliza proyectos de recuperación en los lagos de Amatitlán y Atitlán.* Boletín informativo del Congreso de la República de Guatemala, Sexta Legislatura, 2008 - 2012. Guatemala; 2010. 30 p.

20. *La fundación para la salvación del lago de Amatitlán*. [en línea] Documento. <http://www.eco-index.org/ong/fundalago-gtesp>. FUNDALAGO, 2008.[Consulta: septiembre de 2010].
21. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *La estrategia financiera nacional del PROANDYS*. Boletín Informativo del MARN. Guatemala: MARN, 2009. 28 p.
22. RAMÍREZ E; Alberto. *El lago de Amatitlán se puede salvar*. Artículo publicado en Prensa Libre. Edición dominical del 02 de mayo del 2010, en la sección de nacionales. Guatemala: 2010. 45 p.
23. Secretaría de Integración Centroamericana. *Plan de acción para el manejo integrado del agua en el istmo Centroamericano*. PACADIRH. Guatemala: SICA, 1999. 186 p.
24. Secretaria General, Sistema de Integración Centroamericano. *Plan de acción para el manejo integrado del agua en el istmo Centroamericano*. Costa Rica: SICA, 1999. 68 p.
25. Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas; Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente IARNA. *Situación del recurso hídrico en Guatemala: Documento técnico del perfil ambiental*. Guatemala: URL, 2005. 60 p.

