

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO "CHICHORIN", DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.

GUILLERMO NOWELL FERNÁNDEZ

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO “CHICHORIN”, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

POR

**GUILLERMO NOWELL FERNÁNDEZ**

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

DR. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. MA. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Elec. Carlos Waldemar de León Samayoa
VOCAL QUINTO	P. Cont. Neydi Yasmine Juracán Morales
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, MAYO DE 2018

Guatemala, mayo de 2018

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de graduación titulado: EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO “CHICHORIN”, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A., como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los aspectos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

**GUILLERMO NOWELL FERNÁNDEZ**

## **ACTO QUE DEDICO**

### **A DIOS:**

Por ser la máxima expresión de amor y sabiduría, por darme la vida,

### **A MIS PADRES**

Guillermo Antulio e Irma Leticia, por su amor, confianza, esfuerzo y apoyo incondicional en mi formación personal y académica. Gracias padre por ese ejemplo de un hombre trabajador, íntegro y entregado a su familia, por enseñarme los valores fundamentales para ser un hombre de bien. Gracias madre linda por ser esa luz en mi vida, gracias por ser tan detallista y demostrarme ese amor incondicional que solo tú puedes tener. No existen palabras que expresen los sentimientos que en este momento inundan mi corazón.

Gracias a los dos por la vida, por enseñarme que nuestro paso en este mundo debe marcar la diferencia, por motivarme a luchar y trabajar por mis objetivos, por el carácter que en mí han forjado, soy el reflejo de su amor. Infinito agradecimiento, los amo.

### **A MIS HERMANOS**

A mis hermanos Emerson y Jennifer,

Emerson, gracias por apoyarme siempre en todo momento, haz sido de gran ayuda en mi formación profesional, la experiencia y sabiduría que las experiencias te han brindado me han servido como ejemplo de perseverancia y ardua lucha.

A Jennifer, por todo el apoyo a lo largo de mis 29 años, por creer en mí y en mis capacidades.

Con ustedes dos he pasado los mejores momentos de mi infancia y adolescencia.

## **A MI NOVIA**

Tesalia María de León Granja, por estar conmigo en los momentos más difíciles, por alentarme y motivarme a luchar y trabajar por lo que de corazón deseo, por todo el amor y confianza que me ha demostrado. Por soñar juntos. Te amo.

## **A MIS AMIGOS**

Luis Girón (oso), Antonio Molina (tonito), Jorge Mario Ávila, Guillermo Varela, Rodrigo Palma, Wesly Ramírez, José Franco (colocho), Karina Desiree, Marisol Amador, Ruth Raquel, Francisco Roque, Bruno Torres, Jackeline Brincker, Johana Brincker, Andrea Doria (chapis), Fernando Argueta (caballo), André Escobar, Martin Rousselin, Douglas Espinales, Andre Sánchez, Pedro Soto (pantufla), Alfredo Prado, y demás personas que han compartido conmigo momentos alegres e inolvidables y quedaran grabados en mi memoria.

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO**

### **A DIOS:**

Por darme la sabiduría en mi vida.

### **A GUATEMALA**

Mi Patria, el país de la eterna primavera.

### **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Mi casa de estudios, alma mater.

### **FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Por los conocimientos y formación académica.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A:**

**Ingeniero Waldemar Nufio**, por su valiosa asesoría y colaboración en la elaboración del presente documento y por esa amistad tan sincera.

**Dr. Marco Vinicio Fernández**, por su asesoría profesional en la ejecución del presente documento.

**Ingeniero Hermógenes Castillo**, por el apoyo brindado durante el Ejercicio Profesional Supervisado y los consejos compartidos con base en su experiencia.

**MUNICIPALIDAD DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ**, por darme la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) y por brindarme los recursos necesarios para la investigación.

**DIRECCIÓN MUNICIPAL DE PLANIFICACIÓN** Por su apoyo en el transcurso del Ejercicio Profesional Supervisado.

## ÍNDICE DE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
RESUMEN .....	viii

### CAPÍTULO I

#### DIAGNÓSTICO DE LA DIRECCIÓN MUNICIPAL DE PLANIFICACIÓN, SUBDIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN

##### MUNICIPALIDAD DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.

1.1. PRESENTACIÓN .....	1
1.2. Marco referencial.....	2
1.2.1. Ubicación y localización.....	3
1.3. OBJETIVOS .....	6
1.3.1. General.....	6
1.3.2. Específico .....	6
1.4. METODOLOGÍA.....	7
1.4.1. Recopilación de información bibliográfica.....	7
1.4.2. Entrevistas .....	7
1.4.3 Observación.....	7
1.4.4. Análisis de campo.....	8
1.4.5. Recursos utilizados.....	8
1.5. RESULTADOS .....	9
1.5.1. Describir las diferentes actividades que se realizan en la Subdirección de Planificación .....	9

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
1.5.2. Identificación de los problemas principales de la Subdirección de Planificación.....	10
1.5.3. Organización de la Dirección Municipal de Planificación.....	11
1.6. CONCLUSIONES.....	13
1.7. RECOMENDACIONES .....	14
1.8. BIBLIOGRAFÍA .....	15

## **CAPÍTULO II**

### **EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO “CHICHORIN”, MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

2.1. INTRODUCCIÓN .....	16
2.2. MARCO TEÓRICO .....	18
2.2.1. Marco Conceptual.....	18
2.2.2. Marco Referencial.....	36
2.3. OBJETIVOS .....	42
2.3.1. Objetivo General.....	42
2.3.2. Objetivos Específicos .....	42
2.4. HIPÓTESIS .....	42
2.5. METODOLOGÍA.....	43
2.5.1. Metodología estadística no paramétrica .....	43
2.5.2. Tratamientos.....	43
2.5.3. Descripción de las variables .....	45
2.5.4. Manejo del experimento .....	46
2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	49

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
2.6.1. Turbidez.....	49
2.6.2. Demanda bioquímica de oxígeno, (DBO <sub>5</sub> ).....	51
2.6.3. Demanda química de oxígeno, (DQO) .....	53
2.6.4. Sólidos en suspensión .....	54
2.6.5. Coliformes totales .....	56
2.7. CONCLUSIONES.....	59
2.8. RECOMENDACIONES .....	60
2.9. BIBLIOGRAFÍA .....	61

### **CAPÍTULO III**

#### **EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO “CHICHORIN”, MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

3.1. PRESENTACIÓN .....	64
3.2. SERVICIO 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ.....	66
3.2.1. OBJETIVO .....	66
3.2.2. METODOLOGÍA .....	66
3.2.3. RESULTADOS .....	67
3.2.4. EVALUACIÓN.....	73

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÁGINA</b>
3.3. SERVICIO 2. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y CONFORMACIÓN DE DOCUMENTACIÓN PARA INGRESO AL MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES - MARN DE LOS PROYECTOS: MEJORAMIENTO CALLE FINAL LA PONDEROSA 2 (ADOQUINAMIENTO), SAN LUCAS SACATEPEQUEZ, CONSTRUCCIÓN ESCUELA OFICIAL URBANA MIXTA REPUBLICA FEDERAL DE CENTRO AMÉRICA ZONA 1, SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ (CUARTO MÓDULO DE AULAS), CONSTRUCCIÓN EDIFICIO SEDE ASOCIACIÓN DE VECINOS RESIDENCIALES VILLAS DE LA MESETA, ZONA 3, SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ	
3.3.1. OBJETIVOS.....	74
3.3.2. METODOLOGÍA.....	74
3.3.3. RESULTADOS .....	76
3.3.4. EVALUACIÓN.....	79
3.3.5. BIBLIOGRAFÍA.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 1. Estructura organizacional de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez. ....	2
Figura 2. Mapa de Sacatepéquez .....	4
Figura 3. Mapa de acceso a la Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez.....	5
Figura 4. Organigrama de la Subdirección de la Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez.....	12
Figura 5. Cobertura del servicio de saneamiento a nivel nacional, área urbana. ...	23
Figura 6. Filtración lenta en arenas. Fuente: Marron, César, 1999. ....	29
Figura 7. División Política del Departamento de Sacatepéquez.....	36
Figura 8. Sectores que drenan aguas servidas a la PTAR de Chichorín.....	38
Figura 9. Croquis de campo. ....	44
Figura 10. Representación gráfica del comportamiento de la turbidez en relación a los días durante el ensayo. ....	50
Figura 11. Representación gráfica de la demanda bioquímica de oxígeno, expresada en mg/L, 24 días después de la aplicación de ME. ....	52
Figura 12. Representación gráfica de la demanda química de oxígeno, expresada en mg/L, 24 días después de la aplicación de ME.....	54
Figura 13. Representación gráfica de los sólidos en suspensión expresado en mg/L, 24 días después de la aplicación de ME. ....	55
Figura 14. Representación gráfica del número más probable en 100 ml de muestra de coliformes totales, 24 días después de la aplicación de ME, en los tratamientos respectivos.....	56
Figura 15. Eficiencia planta de tratamiento Chichorin. ....	68
Figura 16. Planta de tratamiento de aguas de Chichorin.....	68
Figura 17. Eficiencia de planta de tratamiento de San José.....	70
Figura 18. Vista panorámica planta de Lomas de San José. ....	70

<b>FIGURAS</b>	<b>PÁGINA</b>
Figura 19. Eficiencia planta de tratamiento de Chipablo. ....	72
Figura 20. Vista panorámica PTAR de Chipablo .....	72
Figura 21. Carátula de EIA del proyecto: Mejoramiento calle final La Ponderosa, zona 2, San Lucas Sacatepéquez (adoquinamiento). ....	76
Figura 22. Carátula de EIA del proyecto: construcción escuela primaria oficial urbana mixta República Federal de Centro América, zona 1, San Lucas Sacatepéquez. (Cuarto módulo de aulas) .....	77
Figura 23. Carátula del EIA del proyecto: Construcción edificio sede asociación de vecinos residenciales Villas de la Meseta, zona 3, San Lucas Sacatepéquez.....	78

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>	<b>PÁGINA</b>
Cuadro 1. Matriz de jerarquización de problemas en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez.....	11
Cuadro 2. Uso actual del agua en Guatemala.....	20
Cuadro 3. Requisitos de tratamientos por bacterias coliformes .....	24
Cuadro 4. Clasificación de algunos parámetros de análisis de agua residual.....	26
Cuadro 5. Límites máximos permisibles, según acuerdo Gubernativo 236-2006..	40
Cuadro 6. Descripción de tratamientos .....	44
Cuadro 7. Turbidez del agua residual obtenida de siete muestreos realizados durante un período de 24 días, tras aplicación de EM en agua residual municipal.....	49
Cuadro 8. Color del agua residual como un indicador visual de los niveles de oxígeno disuelto. ....	51
Cuadro 9. Demanda bioquímica de oxígeno obtenida después de 24 días de evaluación tras aplicación de ME en agua residual municipal. ....	52
Cuadro 10. Demanda química de oxígeno obtenida después de 24 días de evaluación tras aplicación de EM's en agua residual municipal. ....	53
Cuadro 11. Sólidos en suspensión obtenidos después de 24 días de aplicación de ME en agua residual municipal.....	55
Cuadro 12. Coliformes totales obtenidos después de 24 días de evaluación tras aplicación de EM's en agua residual municipal, en los tratamientos respectivos .....	56
Cuadro 13. Caracterización de PTAR, cantón Chichorín. ....	67
Cuadro 14. Caracterización de PTAR, Lomas de San José.....	69
Cuadro 15. Caracterización PTAR, Caserío Chipablo.....	71

# **EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO “CHICHORIN”, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS EN EL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

## **RESUMEN**

El municipio de San Lucas Sacatepéquez durante los últimos años ha experimentado un crecimiento demográfico y un desarrollo urbanístico acelerado y desordenado debido a la falta de educación ambiental, planificación, ordenamiento territorial y el poco interés de las autoridades, ha provocado impacto ambiental en los cuerpos de agua que se encuentran en el lugar.

Durante el Ejercicio Profesional Supervisado – EPS- en el período de febrero a noviembre del 2015 se tuvo como objetivo apoyar a la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez en temas relacionados principalmente al tratamiento de aguas residuales.

Para evitar la contaminación y frenar los procesos de eutrofización de cuerpos de agua, es necesario tratar mediante varios métodos y procesos el recurso contaminado y devolverlo a la naturaleza en su estado menos dañino para el ambiente.

El diagnóstico se enfocó en evaluar la situación operacional de la Dirección Municipal de Planificación (DMP), esta unidad es la encargada de planificación, ejecución y supervisión de las obras y proyectos municipales; como adoquinamiento de calles, instalación de drenajes, construcción e instalación de pasarelas públicas, ampliación y mejoramiento de unidades de salud pública y educativas.

La investigación consistió en una evaluación de diferentes aplicaciones de Microorganismos Efectivos –ME, en aguas residuales del municipio. Los ME, son una mezcla de microorganismos beneficiosos de origen natural desarrollados por el Profesor: Teruo Higa en la Universidad de Ryukus, Okinawa, Japón. Sus aplicaciones son variadas y pueden ser empleados para la recuperación de aguas contaminadas.

El objetivo fue evaluar los microorganismos eficientes en el saneamiento del agua residual, en la planta de tratamiento Chichorín, analizando las principales variables establecidas por ley en cuanto a calidad del agua se refiere y su vertido en cuerpos receptores, para el caso de la microcuenca del río Las Vigas.

Los resultados indican que la variable de respuesta: a) Turbidez, no tuvo un efecto positivo, la falta de oxigenación en el sistema propició condiciones sépticas y la característica principal es el agua color oscuro o negro. b) En la demanda bioquímica de oxígeno - DBO, los resultados no fueron los esperados, al no haber oxígeno disuelto en las unidades de muestreo, no se completó el proceso de oxidación de materia orgánica c) Respecto a los sólidos en suspensión, la temperatura media limitó la degradación de materia orgánica sin tomar en consideración los bajos niveles de oxígeno disuelto indispensables para este proceso y d) En los coliformes totales, las alteraciones en las poblaciones microbianas en cierto nivel trófico pueden tener repercusiones en toda la comunidad bacteriana dando lugar al crecimiento o muerte de colonias.

Los servicios tuvieron como objetivo apoyar a la Dirección Municipal de Planificación (DMP) principalmente en: elaboración de Estudios de Impacto Ambiental – EIA, categoría C para obras y proyectos municipales y una caracterización de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.



**CAPÍTULO I**

**DIAGNÓSTICO DE LA DIRECCION MUNICIPAL DE PLANIFICACIÓN, SUBDIRECCIÓN  
DE PLANIFICACIÓN  
MUNICIPALIDAD DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

## **1.1. PRESENTACIÓN**

El ejercicio profesional supervisado EPS, fue desarrollado en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez y comprendió un periodo de 10 meses, de febrero a noviembre del 2015.

El municipio de San Lucas durante los últimos años ha experimentado crecimiento demográfico y desarrollo urbanístico acelerado. Esto requiere un buen funcionamiento de la municipalidad como institución gobernante y por ende las direcciones o unidades que sirven a las diferentes demandas de los vecinos.

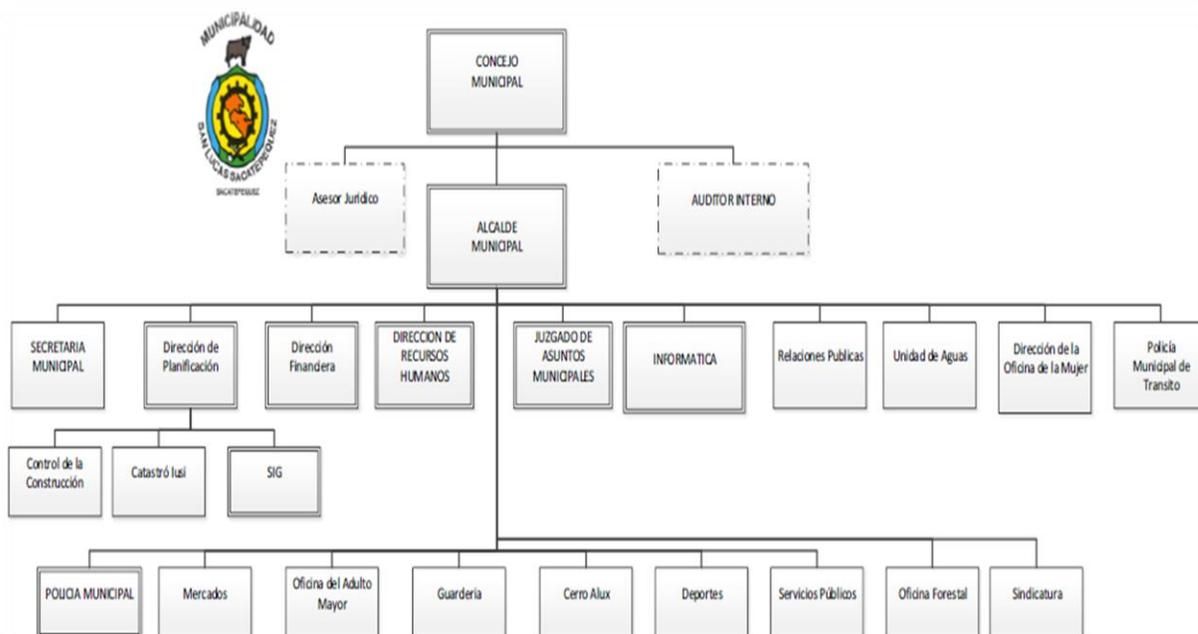
El diagnóstico y los servicios fueron enfocados a la Dirección Municipal de Planificación. La DMP es la unidad encargada de la planificación, ejecución y supervisión de todos los proyectos contemplados por la municipalidad de San Lucas. Entre las actividades que están indirectamente relacionadas con la dirección, el tratamiento de las aguas y el control y mantenimiento de las plantas de tratamiento del municipio.

Por medio del diagnóstico se analizó el funcionamiento de la Dirección Municipal de Planificación (DMP), con este fin, se utilizó la información previamente recabada y mediante la observación de los diferentes procesos que involucra, se encontraron deficiencias que podrán ser superadas mediante determinadas estrategias, optimizando así la calidad de sus servicios.

## 1.2. Marco referencial

La municipalidad de San Lucas Sacatepéquez está ubicada en el municipio de San Lucas del departamento de Sacatepéquez. Etimológicamente fue nombrado San Lucas por los españoles en honor al discípulo de Jesús y Sacatepéquez que es una composición de las voces Náhuatl, zacat significa hierba y tepet, cerro, siendo el significado “Cerro de Hierbas” (Solares, 2012).

La municipalidad se divide en varias unidades y direcciones, está encabezada por el consejo municipal y el alcalde municipal y ascendentemente se encuentran las secretarías y direcciones. Figura 1.



Fuente: Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, 2008

Figura 1. Estructura organizacional de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez.

Actualmente la municipalidad de San Lucas, es una institución pública que tiene que cumplir con sus deberes y responsabilidades con el vecino. Esto demanda de una unidad que

controle y dirija las principales funciones de la municipalidad. Con este fin, fue creada la Dirección Municipal de Planificación (DMP).

La DMP se subdivide en 5 subdirecciones con responsabilidades y atribuciones diferentes.

- a. Catastro
- b. Planificación
- c. Control de la construcción privada
- d. Plan de ordenamiento Territorial (POT)
- e. Unidad de Gestión Ambiental (UGAM)

Con el presente diagnóstico se pretende analizar la Subdirección Municipal de Planificación; para elaborar este análisis de manera eficiente, se utilizó la información recabada durante las diferentes actividades en las que se tuvo participación dentro de la DMP, con el objetivo de determinar deficiencias aplicando los conocimientos técnicos adecuados.

### **1.2.1. Ubicación y localización**

San Lucas Sacatepéquez pertenece al Departamento de Sacatepéquez, está situado en la Región V o Región Central, a unos 20 minutos de la ciudad capital. A la altura del km. 29 sobre la ruta Interamericana, se encuentra la entrada principal de la población (Samayoa, Gálvez, 2010).

El municipio cuenta con 30,200 habitantes aproximadamente, de estos, 10,986 habitan en urbanizaciones (Solares, 2012).

Cuenta con un pueblo, que es el casco urbano del municipio, 5 aldeas y 3 caseríos siendo la Aldea de El Choacorrall, Aldea Zorzolla I y II, Aldea la Embaulada, Aldea el Manzanillo, Aldea Chicamen y Caseríos de Chipablo, San José y Chituc respectivamente, en la figura 2.





Fuente: Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, 2015.

Figura 3. Mapa de acceso a la Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez escala 1: 2500

Con una elevación sobre el valle de 2,100 m snm., una cobertura vegetal superior al 60% y temperatura ambiente que oscila entre los 12 °C y 17 °C, así como humedad elevada, San Lucas brinda un clima agradable prácticamente todo el año. Tiene una extensión territorial de 24.5 km<sup>2</sup> (Samayoa, Gálvez, 2010).

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. General**

Evaluar la situación actual de la Subdirección de Planificación (DMP) de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, para determinar los problemas que mayor impacto tienen y brindar posibles soluciones.

#### **1.3.2. Específico**

1. Describir las diferentes actividades que se realizan en la Subdirección de Planificación.
2. Identificar problemas en las principales actividades de la subdirección de planificación.
3. Elaborar un organigrama de la subdirección de planificación.

## **1.4. METODOLOGÍA**

Se realizó un diagnóstico de la Dirección Municipal de Planificación de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez con el objetivo de analizar las diferentes actividades y procesos que se llevan a cabo para determinar errores y problemas dentro de la dirección.

### **1.4.1. Recopilación de información bibliográfica**

Se recopiló toda la información necesaria, a manera de tomar conceptos más claros relacionados a la elaboración de diagnósticos, siempre velando porque sea una fuente confiable, como la misma municipalidad e información obtenida de la Dirección de Aguas y Drenajes.

### **1.4.2. Entrevistas**

Esta parte fue de vital importancia, se entrevistó al personal de la subdirección para obtener de forma directa, los problemas que tienen mayor importancia. Estas se realizaron cuando surgían conflictos dentro de la dirección.

### **1.4.3 Observación**

Durante el periodo de tiempo correspondiente se tuvo la oportunidad de observar los procesos que se dan dentro de la oficina de la subdirección de planificación y en campo, al momento de la ejecución y supervisión de proyectos, donde se pudo observar los inconvenientes que se tienen a la hora de brindar los servicios.

#### **1.4.4. Análisis de campo**

En campo se logró constatar la información obtenida por medio de entrevistas, se pudo tener una perspectiva y contacto directo con los problemas al hacer inspecciones de campo en los distintos proyectos que daba seguimiento la dirección. Por medio de este análisis es mucho más fácil crear y proveer soluciones que sean efectivas.

#### **1.4.5. Recursos utilizados**

Para la realización del diagnóstico se necesitaron algunos recursos muy importantes. Primero que todo el tiempo que se empleó para la realización del documento, un vehículo pick up, proporcionado por la DMP para supervisiones de campo y otras actividades, el recurso humano, muy importante, debido a que los empleados municipales brindaran su tiempo laboral para apoyar la investigación, material bibliográfico proporcionado por la municipalidad y material bibliográfico de otras fuentes.

## **1.5. RESULTADOS**

### **1.5.1. Describir las diferentes actividades que se realizan en la Subdirección de Planificación**

La Departamento Municipal Planeación DMP- es la oficina encargada de llevar a cabo los procesos de planificación, ejecución y supervisión de los diferentes proyectos que se llevan a cabo por parte de la municipalidad. Estos proyectos comprenden desde adoquinamiento de calles y avenidas, construcción de aceras peatonales, hasta construcción de centros educativos y de salud.

Para llevar a cabo estas actividades fue necesario tomar en cuenta 3 aspectos importantes:

- Planificación
- Ejecución
- Supervisión

#### **A. Planificación**

Los proyectos municipales que están propuestos para su ejecución en un año regular, son definidos durante el mes de diciembre del año anterior. La planificación consta de: elaboración de planos, cotización de materiales, gestión financiera, elaboración de instrumentos ambientales, papelería correspondiente para el MARN.

#### **B. Ejecución**

Para llevar a cabo la ejecución del proyecto primero se licitó en el portal de Guate Compras para que empresas privadas puedan participar en el evento. También la compra de materiales para las obras es parte de este proceso

Planificación de los proyectos contemplados para el siguiente año con base al presupuesto.

- Levantamiento de información técnica:

- Planos
- Topografía
- Documentación técnica legal para requisito del ministerio de ambiente.
- Subcontratación de servicios
- Licitación de proyectos
- Arrendamiento de maquinaria y equipo
- Compra de material de construcción
- Ejecución de proyectos en algunos casos
- Supervisión de proyectos

### **C. Supervisión**

Tiene como principal objetivo la observación en campo y el seguimiento del avance durante el proceso de ejecución de un proyecto. Mediante la supervisión fue donde se pudo afinar detalles o hacer cambios imprevistos para mejorar la calidad de la obra.

#### **1.5.2. Identificación de los problemas principales de la subdirección de planificación**

Para conocer los principales problemas que tiene la subdirección de planificación fue necesario realizar un diagnóstico con el objetivo de priorizar los problemas de la subdirección.

En el cuadro 1 se presenta una matriz de jerarquización de problemas que tiene la subdirección de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez.

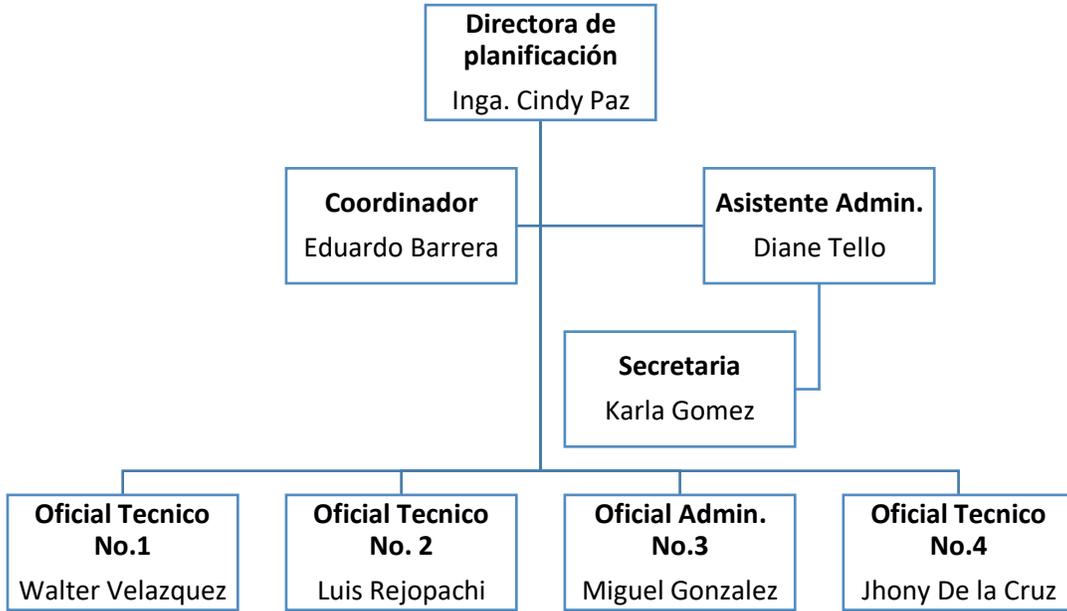
Cuadro 1. Matriz de jerarquización de problemas en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez.

No.	Principales problemas	Ponderación
1	Poco personal y recurso humano	7
2	Atraso en planos y diseños	5
3	Comunicación no efectiva en la ejecución de proyectos	6
4	No están estrictamente definidos los descriptores de puestos	6
5	Atraso en las obras a ejecutar (por falta de materiales u otros factores)	6
6	Falta de vehículos disponibles	6
7	Falta de equipo de trabajo (maquinaria propia)	8

Fuente: elaboración propia, 2017

### 1.5.3. Organización de la dirección municipal de planificación

A continuación, se presenta el organigrama de la subdirección de planificación donde se identifica cada uno de los puestos laborales de las personas que trabajan en el departamento en la Figura 4.



Fuente: Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, 2015.

Figura 4. Organigrama de la dirección municipal de planificación de San Lucas Sacatepéquez

## 1.6. CONCLUSIONES

1. El recurso humano con el que dispone la dirección es escaso, esto provoca que los proyectos se atrasen y cause malestar entre los vecinos. Involucra el atraso en la elaboración de los planos y diseños. De igual forma el tener poco personal hace que en su momento algún técnico deje sus labores para realizar otra con mayor urgencia.
2. La falta de vehículos para movilizarse a los proyectos hace que estos se atrasen y provoquen enojo por parte de los vecinos.
3. La falta de maquinaria también influye en el atraso de los proyectos, como la municipalidad no cuenta con equipo propio se tiene que rentar, muchas veces no existe la disponibilidad en el momento que se necesita.

## **1.7. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda la contratación de personal calificado para el desempeño de las actividades que se realizan en la dirección.
2. Desarrollar el descriptor de puesto de cada uno y todos los colaboradores, donde se especifique el listado de atribuciones que tendrán a su cargo, esto evitará que haya mal entendidos en la planificación, ejecución y supervisión de los proyectos.
3. Evaluar la posibilidad de la adquisición de más unidades de transporte para que esto no sea motivo por el cual no se supervisen los proyectos o se gestione la adquisición de materiales en un tiempo adecuado.

## 1.8. BIBLIOGRAFÍAS

1. Rejopachi, L. 2016. Situación y problemática actual de la DMP (Dirección Municipal de Planificación) (entrevista). Sacatepéquez, Guatemala, Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, Dirección Municipal de Planificación (DMP).
2. Samayoa M., G. 2010. Patrimonio cultural tangible e intangible de San Lucas Sacatepéquez. Guatemala, USAC, Centro de Estudios Folclóricos –CEFOL-. 132 p.
3. Solares, CJY. 2012. Monografía del municipio de San Lucas Sacatepéquez. San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez, Guatemala, Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, Admin. 2012-2016. 5 p.



Polando Ramos



## CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO "CHICHORÍN", MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.

EVALUATION OF EFFECTIVE MICROORGANISMS (EM), FOR APPLICATION IN WASTEWATER OF THE TREATMENT PLANT "CHICHORÍN", MUNICIPALITY OF SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.

## 2.1. PRESENTACIÓN

El constante incremento de la población de manera desmesurada, falta de educación ambiental, planificación y ordenamiento territorial y a resumidas cuentas la falta de interés de las autoridades, está provocando un deterioro y gran impacto ambiental en los cuerpos de agua del país.

El agua es un recurso vital que día a día se usa para suplir nuestras necesidades; el agua que sale de las tuberías de nuestras viviendas, es apropiada para el consumo humano, ya para la preparación de alimentos, para el lavado de ropa, asearnos, etc. ¿Qué sucede con el agua utilizada en las viviendas, las industrias, etc.? Esta es vertida por las tuberías que se conectan a drenajes municipales que conducen a desfuegos a flor de tierra que sigue el curso a través de los ríos hasta los grandes depósitos naturales, lagos y océanos.

Para evitar contaminación y frenar los procesos de eutrofización de cuerpos de agua, es necesario tratar el recurso contaminado. Mediante distintos procesos el agua es tratada y devuelta al sistema en su forma más natural y descontaminada.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden ser de distintos tipos y diferentes tratamientos, algunos menos eficientes y más costosos que otros. Es por ello que esta investigación se ve enfocada en la evaluación de los Microorganismos Eficientes (EM) en soluciones naturales y su aplicación en plantas de tratamiento de aguas residuales para la depuración y el saneamiento biológico.

Los EM son una mezcla de microorganismos beneficiosos de origen natural desarrollados por el Prof. Teruo Higa en la Universidad de Ryukus, Okinawa, Japón. Sus aplicaciones son variadas y pueden ser empleados entre otros usos, estos microorganismos benéficos serán aplicados para la recuperación de aguas contaminadas (Banco Interamericano de Desarrollo 2009).

La finalidad de la investigación, fue evaluar los microorganismos eficientes en el saneamiento del agua residual, en la planta de tratamiento Chichorín, evaluando distintas

variables establecidas por ley en cuanto a calidad del agua se refiere y su vertido en cuerpos receptores, para el caso directamente en la microcuenca del río Las Vigas.

Los resultados indican que la variable de respuesta: a) Turbidez, no tuvo un efecto positivo, la falta de oxigenación en el sistema propició condiciones sépticas y la característica principal es el agua color oscuro ó negro. b) En la DBO, los resultados no fueron los esperados, al no haber oxígeno disuelto en las unidades de muestreo, no se completó el proceso de oxidación de materia orgánica c) Respecto a los sólidos en suspensión, la temperatura media limitó la degradación de materia orgánica sin tomar en consideración los bajos niveles de oxígeno disuelto indispensables para este proceso y d) En los coliformes totales, las alteraciones en las poblaciones microbianas en cierto nivel trófico pueden tener repercusiones en toda la comunidad bacteriana dando lugar al crecimiento o muerte de colonias.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Marco conceptual**

#### **A. El agua, una problemática mundial**

La mayoría de la humanidad vive en ciudades, dentro de dos décadas, casi el 60% de la población mundial habitará en núcleos urbanos. La explosión del crecimiento de las urbes conlleva desafíos sin precedentes, la falta de suministro de agua y saneamiento es el más urgente y lesivo (OMS/UNICEF 2010).

Según la UNICEF y la organización mundial de la salud (OMS) dos son los principales desafíos en materia de agua que afectan la sostenibilidad de los asentamientos urbanos: la falta de acceso de agua potable y saneamiento y el aumento de desastres relacionados con el agua como inundaciones y sequías.

La falta de servicios adecuados de suministro de agua y saneamiento conduce a enfermedades como la diarrea o brotes de malaria y de cólera. Aunque la cobertura de suministro de agua y saneamiento ha aumentado entre 1990 y 2008, el crecimiento de la población urbana mundial pone en peligro estos resultados. Mientras que entre 1990 y 2008, 1,052 millones de ciudadanos tuvieron acceso a fuentes de agua potable mejoradas y 813 millones a saneamiento mejorado, la población urbana creció durante ese período en cerca de 1,089 millones de personas (OMS/UNICEF 2010).

Sobre la contaminación del agua todos saben cuáles son los problemas reales que esta causa. Muy a menudo existe una mezcla de verdades con muchos conceptos erróneos e información falsa que deja a la gente abrumada y confundida.

Todos los cuerpos de agua en el mundo sufren de contaminación, esto incluye el agua que se encuentra en los océanos, ríos, lagos y bajo la tierra. Los productos químicos son la principal causa de la contaminación del agua a nivel mundial debido a la agroindustria, fábricas entre otros, pero en realidad el problema aún es más grande en países en vías de

desarrollo como Guatemala, ya que la contaminación hídrica por desechos biológicos va más allá de lo imaginable.

El tema de la contaminación del agua está asociado también a graves problemas de salubridad para los humanos y animales. Alrededor del mundo miles de personas mueren diariamente por esta causa, en su mayoría niños y ancianos, quienes son más vulnerables.

La contaminación del agua es un problema mundial, y muchas personas asumen que sólo es un problema en países del tercer mundo, sin embargo, algunos de los problemas derivados de esta situación se ven reflejados en todas las regiones del mundo, por ejemplo, 700 millones de personas en India no tienen las condiciones sanitarias para sus desechos corporales, en china más de 500 millones de personas beben agua contaminada (Fernández, Pérez 2012).

Las aguas residuales y los desechos cloacales son las formas principales de contaminación del agua, por debajo de los productos químicos. Miles de millones de toneladas de estos residuos son generados anualmente de los cuerpos de los seres humanos y depositados en los diversos cuerpos de agua.

## **B. La demanda de agua a nivel nacional**

En el cuadro 2, se presentan las estimaciones más recientes de la cuenta integrada de recursos hídricos (IARNA-URL 2011), sobre la demanda de agua en el país. Los datos muestran que entre 2006 y 2010 las actividades económicas más demandantes del recurso fueron la agricultura, ganadería y silvicultura, las industrias manufactureras y agroindustrias y las grandes industrias proveedoras de servicio eléctrico, gas y agua.

Al realizar un análisis del cuadro anterior nos damos cuenta que en general el consumo y demanda de agua en el país ha ido incrementando año con año.

Tomando en consideración estos datos es alarmante saber que un muy bajo porcentaje del agua que se usa, es tratada adecuadamente o reutilizada.

Cuadro 2. Uso actual del agua en Guatemala

<b>Uso de agua en Guatemala por grandes grupos de actividades económicas (millones de m<sup>3</sup>).</b>					
<b>Periodo 2006-2010</b>					
<b>Actividades económicas y de consumo</b>	<b>AÑO</b>				
	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	5,042.00	6,003.62	6,003.62	6,252.08	6,496.56
Pesca	427.06	527.52	527.52	511.9	514.62
Explotación de minas y canteras	6.13	6.93	6.22	6.34	6.19
Industrias manufactureras y agroindustria	7,475.13	8,185.24	8,296.74	7,604.04	7,643.17
Suministro de electricidad, gas y agua	4,765.13	518,456	5,514	5,110.16	5,057.33
Construcción	93.19	104.36	102.94	87.29	76.26
Comercio al por mayor y menor	51.33	44.36	44.94	47.27	48.22
Servicios	52.33	51.71	59.3	68.16	69.85
Hogares	422.93	433.51	444.35	455.45	461.68
<b>Total</b>	<b>18,333.48</b>	<b>20,036.00</b>	<b>21,001.66</b>	<b>20,142.69</b>	<b>20,373.88</b>

Fuente: elaboración propia, IARNA 2011.

Por otro lado, analistas ambientales aseguran que en Guatemala existe agua suficiente, pero pocas son las capacidades para su gestión (Guatemala busca un manejo integral de aguas, 2008, julio 21; OAG, marzo 2011; Gálvez 2011, marzo 25) y uno de los principales problemas, son los elevados índices de contaminación del recurso (IARNA-URL 2009).

### **C. Contaminación de las fuentes de agua y cuerpos de agua**

Guatemala posee 38 ríos principales, distribuidos en tres vertientes hidrográficas: Océano Pacífico con 18 ríos; Océano Atlántico, con 10, y Golfo de México con 10. Un indicador-señal fácil de interpretar a nivel macro es la cantidad de ríos principales que han superado

los límites permisibles de elementos contaminantes. Al 2009, al menos 14 ríos principales y cuatro lagos presentaron altos porcentajes de contaminantes físicos, materia orgánica, microorganismos, contaminantes tóxicos y materiales cancerígenos, lo que implica riesgos importantes por usar esas aguas para el consumo humano y riego (MARN, IARNA-URL y PNUMA).

Se sabe que gran parte de la contaminación de los acuíferos en el país proviene de las aguas residuales de los centros urbanos, las cuales son vertidas en los cauces de los ríos, por lo general, sin ningún tratamiento (IARNA-URL e IIA 2006). Este tipo de descargas son ricas en nutrientes, bacterias y patógenos, lo que favorece la proliferación de algas en los cuerpos receptores, factores de riesgo para la salud humana, como lo ilustran los ejemplos del lago de Amatitlán.

En tema de lagos, el país cuenta con 4 principales lagos, (Atitlan, Amatitlán, Izabal, y Petén Itzá), estudios recientes están revelando una contaminación sin precedentes, y las autoridades creadas para el manejo sustentable tienen capacidades limitadas para revertir esta situación. (El periódico, Equipo de Investigación, 2009, diciembre 14).

Según la dirección de la autoridad para el manejo sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA), este es un lago eutrófico (con poca vida acuática) que tiene concentración de clorofila de 25.5 µg/L; concentración de fósforo en 540 µg g/L y una transparencia de 1.03 m (Ramírez A. 2010).

El lago de Amatitlán recibe al menos unas 500 mil toneladas de sedimentos al año, lo que produce un constante y permanente incremento en los niveles de contaminación, principalmente de “fósforo total”, que favorece el desarrollo de cianobacterias (algas verde-azules, *Microcystis* sp.), adicionalmente, su cuenca está amenazada por la basura generada por el millón y medio de personas que allí habitan, a sus alrededores se encuentra el 25 % de la industria del país, alrededor de 1500 empresas contaminantes que derivan sus desechos directamente al lago (AMSA).

La industria es una de las principales fuentes de contaminación de los ríos y lagos. En esta cuenca se localizan una gran cantidad de empresas de diferentes ramas de actividad

registrándose en el año 2000 más de 800 industrias (El Canon Ambiental por Vertidos, MAGA 2003).

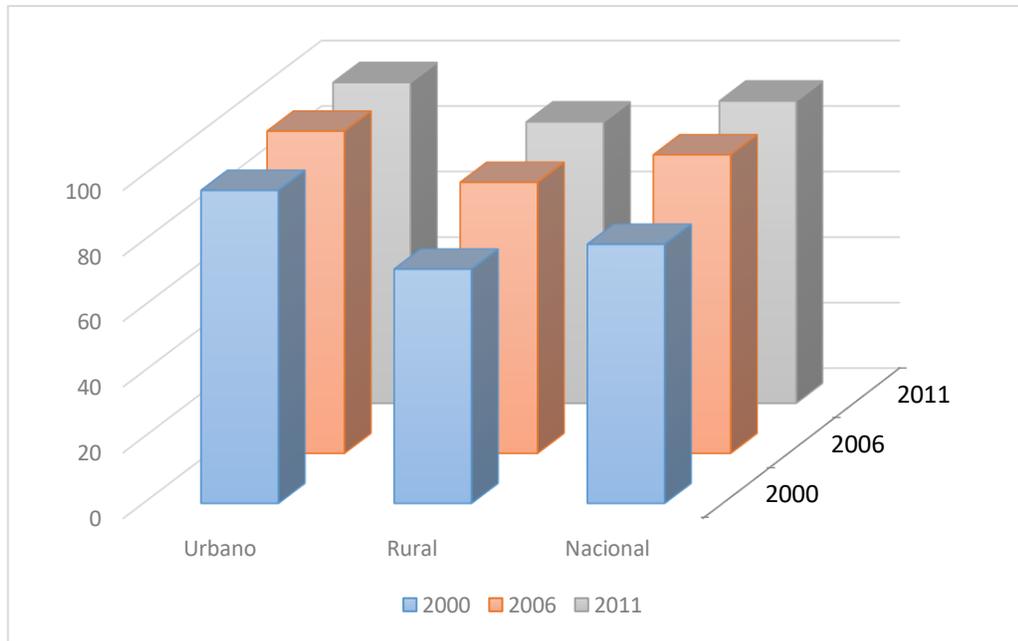
Guatemala actualmente cuenta con más de 3,193 industrias reportadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE 2011), de las cuales 900 se encuentran ubicadas en la cuenca del lago de Amatitlán distribuidas en varias ramas como: textiles, alimenticias (ocupan el 29.8 % de la mano de obra de los habitantes), metalúrgicas, galvanoplásticas, químicas, agroquímicas, curtiembres, jabones y cosméticos, yeso y cerámica entre otras. Estas se localizan principalmente en las zonas 11 y 12 de la ciudad capital y en el municipio de Villa Nueva. (Hilton AC 2002).

El principal problema radica en la falta de tratamiento de los residuos líquidos, por tal razón en Guatemala el sector industria, hasta el momento, no funciona de acuerdo a las características del ecodesarrollo.

El crecimiento acelerado de las áreas urbanas e industriales de la ciudad de Guatemala y las cabeceras municipales de Mixco, San Lucas Sacatepéquez, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlán y Parte de Santa Catarina Pínula han provocado la eutrofización del lago de Amatitlán, contaminando este cuerpo de agua con grandes cantidades de fosfatos, nitratos y materia orgánica.

#### **D. Cobertura de los servicios de saneamiento**

En la figura 5, se presentan los datos en porcentaje de la evolución en cuanto a la cobertura de servicios de saneamiento. Los datos incluyen cualquier sistema que los hogares posean para la disposición de excretas: Inodoro conectado a red de drenaje, inodoro conectado a fosa séptica, excusado lavable y letrina o pozo ciego.



Fuente: IARNA, 2012.

Figura 5. Cobertura del servicio de saneamiento a nivel nacional, área urbana.

En este caso, la cobertura a nivel nacional fue permanente, aunque ocurrió un pequeño retroceso en el área urbana y una leve mejora en el área rural.

La contaminación del agua es general en todo el país, de las 339 municipalidades, únicamente 24 cuentan con plantas de tratamiento. En su totalidad se encuentran registradas aproximadamente 49 plantas de tratamiento de aguas servidas (Situación del Recurso Hídrico en Guatemala, IARNA-URL, noviembre 2006), algunas están fuera de servicio, otras funcionan parcial o inadecuadamente y únicamente 15 se encuentran en funcionamiento.

### E. Ingeniería sanitaria de aguas residuales

Es necesario purificar y eliminar de contaminación las aguas que descargan todas las actividades económicas, para poder llevar a cabo un adecuado saneamiento es necesario realizar una serie de procedimientos y etapas en instalaciones diseñadas para este fin.

Este es un sistema creado para que dentro del mismo sucedan una serie de procesos unitarios, convenientemente seleccionados para potabilizar determinada calidad de agua cruda (CEPIS 1992). Estas se pueden clasificar bajo criterios distintos, ya sea el tipo de proceso o procesos que estén involucrados y por la clase de tecnología que emplean.

La calidad de agua cruda oscila grandemente de una fuente a otra; por ende, el tipo de tratamiento requerido para purificar el agua también varía. Para diseñar una planta de tratamiento eficiente se necesita un estudio de ingeniería cuidadoso, basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuadas= para producir agua que cumpla con la calidad en parámetros requeridos.

Como no existe una norma o fórmula que permita determinar el tipo de planta que se necesita para tratar agua, hay que realizar estudios de tratabilidad (Rojas, 2006).

Se han propuesto criterios generales de tratamiento de agua cruda, según la calidad de la fuente, los cuales sirven como guía. En el Cuadro 3, se resumen las condiciones sobre requisitos de tratamiento en relación con la calidad bacteriológica del agua cruda.

Cuadro 3. Requisitos de tratamientos por bacterias coliformes

<b>REQUISITOS DE TRATAMIENTO</b>		
<b>Grupo</b>	<b>Tipo de tratamiento</b>	<b>Contenido de bacterias coliformes</b>
I	Ninguno	Limitado a aguas subterráneas
II	Cloración	Promedio de 50/100 ml
III	Completo, filtración rápida y pos cloración	Promedio de 50/100 ml (sin que este valor exceda el 20% de las muestras analizadas)
IV	Tratamiento adicional, pre sedimentación y prefloración	Promedio de 5000/100 ml (excediendo este valor en más de 20% de muestras)

Fuente: elaboración propia, 2006.

Como se ve en el cuadro 3, el tipo de tratamiento propuesto varía según la cantidad de bacterias coliformes suspendidas en la muestra, uno de los principales parámetros para aguas potables.

Los sistemas municipales de aguas residuales normalmente comprenden obras de captación, obras de tratamiento y obras de descarga o disposición. En conjunto estas obras integran la red o sistema de alcantarillado público.

Como se observa en las ilustraciones, las aguas residuales de la localidad se colectan junto con el escurrimiento pluvial mediante alcantarillado y un sistema combinado de drenajes.

Los residuos domésticos son las aguas negras domésticas; las aguas de los establecimientos industriales son aguas residuales industriales o comerciales; y el drenaje municipal incluye ambos tipos de descarga.

#### **F. Aguas residuales domésticas**

El agua residual doméstica vertida en los sistemas de recolección municipal, proviene de zonas residenciales, comercios, instituciones, espacios recreacionales (R. Crites 2000; G. Tchobanoglous, 2000).

Estas aguas también llamadas en otros textos de tipo municipal, son una mezcla compleja que contiene agua (por lo común más de 99 %) mezclada con contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña, y se expresa en mg/L de contaminante. (J, Glynn H; Gary W. Heinke 1999).

#### **G. Caudal de agua residual doméstica**

Los componentes del caudal de los líquidos residuales son los siguientes:

- a. Aguas residuales procedentes de hogares y comercios (entiéndase comercial como cualquier tipo de actividad, oficinas hasta tiendas de barrio, por sólo mencionar algunas).
- b. Infiltraciones de agua residual que contaminen las tuberías de las redes de alcantarillado procedentes de aguas subterráneas.
- c. Agua procedente de escorrentías de lluvia.

## H. Características del agua residual doméstica

Las características de este tipo de agua residual se pueden dividir en físicas, químicas y microbiológicas tal y como se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Clasificación de algunos parámetros de análisis de agua residual.

<b>Clase</b>	<b>Parámetro</b>
<b>Físico</b>	Sólidos totales
	Sólidos totales en suspensión
	Temperatura
	Ph
	Color
	Olor
<b>Químico</b>	Hidratos de Carbono
	Proteínas
	Lípidos
	Grasas y aceites
	DBO5, DQO
	Alcalinidad
	Arenas
	Metales pesados
	Nutrientes N, P
	Cloruros
	Azufre
	Sulfuro de Hidrógeno
	Gases
<b>Microbiológico</b>	Bacterias
	Algas
	Protozoos
	Virus
	Coliformes

Fuente: elaboración propia, 1999.

Normalmente las aguas residuales domésticas no son tan complejas como las aguas residuales de tipo industrial, donde pueden existir determinados compuestos tóxicos y peligrosos, por ejemplo, fenoles y compuestos orgánicos tóxicos.

## **I. Aguas residuales industriales**

Son las descargas de agua que produce la actividad económica denominada industrial, entre estas podemos mencionar la industria del aluminio, la industria de productos para la limpieza y cosméticos, la industria de textiles, industria productora o procesadora de derivados del petróleo, entre hidrocarburos y plásticos entre otros.

Estas aguas también incluyen los residuos sanitarios de los empleados, los residuos de proceso derivados de la manufactura, agua de lavado y aguas relativamente poco contaminadas procedentes de las operaciones de calentamiento y enfriamiento (J, Glynn H; Gary W. Heinke 1999).

Pero son las aguas residuales de los procesos involucrados en la industria los que preocupan y varían con amplitud según el tipo de industria. En algunos casos estas necesitan un tratamiento obligatorio previo para eliminar contaminantes por ejemplo en la industria del metal, se produce una escoria pesada y puede incrementar una carga hidráulica a fin que el sistema municipal sea ineficiente y no apto para ese tipo de residuos.

### **a. Características del agua residual industrial**

En contraste con las cualidades relativamente congruentes de las aguas negras domésticas, las aguas residuales industriales suelen tener características muy variadas, incluso cuando las industrias son similares. Por esta razón, es posible que sean necesarios estudios extensos para estimar y valorar los requisitos de pretratamiento y el efecto de las aguas residuales en los procesos biológicos.

## **J. Tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales**

Como se mencionó anteriormente, las plantas de tratamiento se pueden clasificar bajo dos criterios distintos, según el tipo de proceso o procesos que estén involucrados y por la clase de tecnología empleada desde su concepción.

Según el tipo de proceso que comprenden, se pueden clasificar los sistemas de tratamiento de agua en dos tipos:

### **a. Plantas de filtración rápida**

Cuando la mayor parte de las partículas que se encuentran en el agua son de tipo coloidal o se encuentran en solución, se requiere de un tratamiento mediante filtración rápida para su remoción. Las plantas de este tipo están básicamente constituidas por las unidades de: mezcla rápida, floculadores, decantadores y filtros (Vargas, 1992).

Dependiendo de las máximas turbiedades que se puedan alcanzar podría ser necesario también un presedimentador y de acuerdo a la concentración máxima de coliformes fecales, también precloración. En la medida en que el agua presente más parámetros problema, se añadirán los procesos necesarios para purificarla (Vargas, 1992).

### **b. Plantas de filtración lenta**

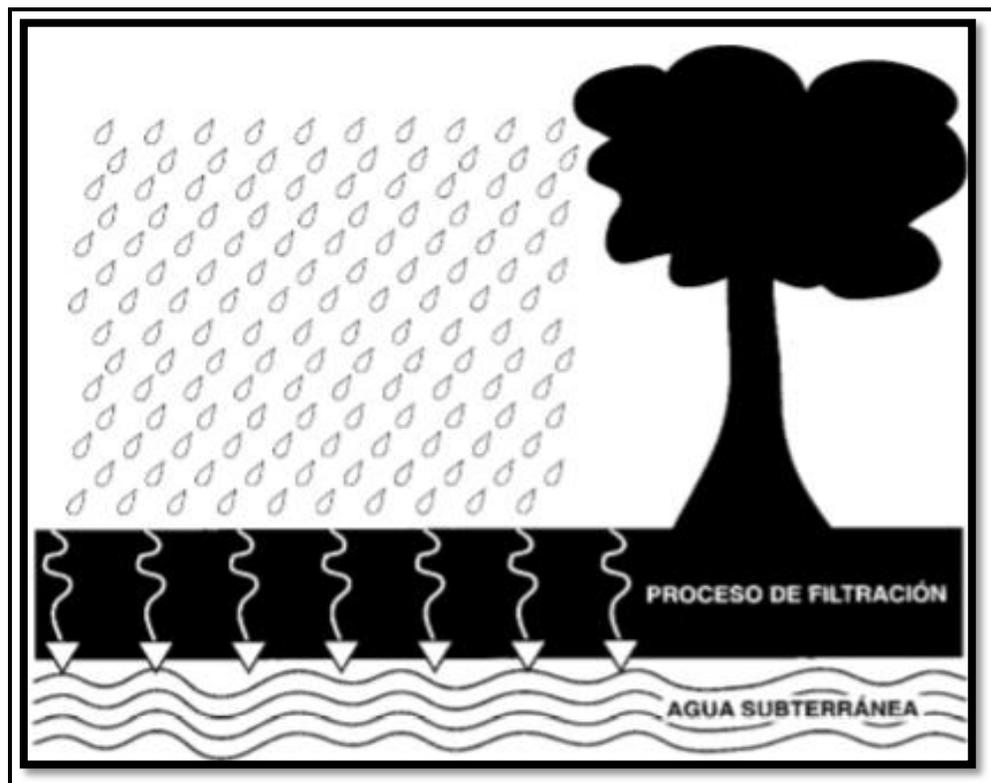
La filtración lenta en arena es el sistema de tratamiento de agua más antiguo utilizado por la humanidad. El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, pero si se diseña y opera convenientemente puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua (Vargas, 1992).

A diferencia de la filtración rápida en arena, en la que los microorganismos se almacenan en los espacios porosos del filtro hasta que se vierten nuevamente en la fuente por medio del lavado, la FLA consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que destruye los microorganismos patógenos del agua. Ello constituye una tecnología limpia que purifica el agua sin crear una fuente adicional de contaminación para el ambiente (Vargas, 1992).

Básicamente, un filtro lento consta de una caja o tanque que contiene una capa sobrenadante del agua que se va a desinfectar, un lecho filtrante de arena, drenajes y un juego de dispositivos de regulación y control (Vargas, 1992).

La principal característica de este tipo de filtración es que permite la eliminación de las bacterias y virus existentes en el agua. El mecanismo es muy efectivo porque simula exactamente el proceso de purificación que se da en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre hasta encontrar los acuíferos o ríos subterráneos (Marron, 1999), como se aprecia en la Figura 6.

La utilización de filtros lentos de arena en la purificación del agua para su consumo es factible, puesto que se ha comprobado mediante los análisis realizados (microbiológico) que los niveles de contaminación bajaron en un porcentaje considerable de 80,91 % en remoción de coliformes totales y en un 67,39 % en coliformes termotolerantes (Barrientos, Tello y Palomino 1998).



Fuente: Marron, 1999.

Figura 6. Filtración lenta en arenas.

## **K. Tratamientos biológicos**

La degradación biológica por contaminantes en aguas, supone un tema que atrae cada vez más la atención de la comunidad de ingenieros y científicos que trabajan en relación con el medio ambiente. Estas transformaciones pueden ocurrir de forma natural sin la intervención del humano, si bien, suelen producirse muy lentamente y limitadas por la disponibilidad de maestranes, oxígeno o por microorganismos adecuados (Caplan, 1993).

Las alteraciones que pueden sufrir los factores influyentes en la reacción para incrementar la tasa de eficiencia de transformación biológica, se traduce al término biorecuperación o bioremediación que no es nada menos que el tratamiento del agua mediante procesos biológicos (Caplan, 1993).

Desde 1970, en la mayoría de países industrializados, el tratamiento de residuales contaminados ha venido cobrando cada vez más importancia y se ha comprobado que los tratamientos biológicos son más económicos que los procedimientos químicos y físicos (Caplan 1993).

Es por esta razón que el empleo de la biorecuperación en el tratamiento de residuales peligrosos supone un concepto relativamente nuevo, aunque se ha convertido en una tendencia de rápido crecimiento dentro de la gestión medioambiental (Eweis, Sarina, y Chang, Schroeder, 1999).

Los tratamientos biológicos tuvieron en un principio como objeto la eliminación de la materia orgánica en las aguas residuales. Posteriormente se les ha ido dando otros usos como son: la oxidación del nitrógeno amoniacal (nitrificación), la eliminación del nitrógeno de las aguas residuales mediante la conversión de las formas oxidadas de  $N_2$  (desnitrificación) o la eliminación del fósforo.

En todo este tipo de procesos se utilizan reacciones asociadas a los organismos vivos; los microorganismos crecen utilizando los contaminantes del agua como fuente de carbono y/o como fuente de energía, convirtiéndolos en nuevos microorganismos (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos.

La fuente de carbono y/o energía se denomina sustrato, por lo que en estos tratamientos la eliminación de contaminantes se conoce como consumo de sustrato. Los procesos de crecimiento de biomasa y de consumo de sustrato están totalmente relacionados, denominándose rendimiento a la cantidad de biomasa generada por unidad de sustrato eliminado (Polo y Torrecillas, 1998).

Los tratamientos biológicos se prestan a diversas clasificaciones. Cabe distinguir entre dos tipos claramente diferenciados:

- a. Procesos biológicos de cultivo en suspensión.
- b. Procesos biológicos de soporte de sólidos.

En todos estos procesos es preciso retener en el sistema la biomasa creada con objeto de que se produzca el proceso. En los de cultivo en suspensión se suele recurrir a una decantación y recirculación de la biomasa, mientras que en los de soporte de sólidos la retención de la misma queda asegurada por las características propias del proceso.

Los sistemas más característicos de los primeros son los fangos activados, las lagunas aireadas y el lagunaje. Entre los segundos se encuentran los filtros percoladores, los biodiscos y los lechos de turba.

#### **L. Organismos interventores en los sistemas de tratamiento biológico**

Los organismos se pueden clasificar desde diversos puntos de vista. Desde el punto de vista de la depuración de aguas la clasificación trófica es de gran importancia.

Los microorganismos necesitan para su crecimiento distintos elementos entre estos se puede mencionar el carbono, nutrientes inorgánicos, energía y poder reductor. Estos obtienen la energía y el poder reductor de las reacciones de oxidación del sustrato. Así, cuanto mayor es la demanda química de oxígeno (DQO) del sustrato, mayor es la energía y el poder reductor (electrones) que es capaz de suministrar el sustrato (José F. Polo; Aurora S. Torrecillas).

Dentro de los microorganismos que intervienen en el tratamiento de aguas se pueden mencionar:

- Bacterias.
- Protozoos.
- Hongos.
- Algas.
- Rotíferos
- Nemátodos.

## **M. Procesos que tienen lugar en los tratamientos biológicos**

### **a. Crecimiento biológico**

Los microorganismos presentes son capaces de utilizar moléculas pequeñas y simples para su crecimiento, tales como ácido acético, etanol, metanol, glucosa, amonio, nitritos, etc. (Polo y Torrecillas, 1998).

### **b. Hidrólisis**

Esta consiste en la transformación de moléculas de gran tamaño en moléculas pequeñas, directamente degradables mediante la acción de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos (Polo y Torrecillas, 1998).

### **c. Desaparición de biomasa (decay)**

Esta desaparición engloba el consumo de biomasa debido a:

#### **d. Mantenimiento**

Cuando los aportes externos de energía son menores que las necesidades de energía para mantenimiento, las células obtienen la energía necesaria de la degradación de reservas de energía existentes en el interior de la célula, lo que da lugar a la disminución de la biomasa (metabolismo endógeno).

#### **e. Predación**

Producida por organismos superiores en la cadena trófica.

#### **f. Muerte y lisis**

Cuando las células mueren existe rotura de la pared celular y los organelos y citoplasma forman parte de la suspensión, tras sufrir este proceso, se convierten en sustrato para otros organismos (José F. Polo; Aurora S. Torrecillas).

### **N. Una alternativa eficiente para el tratamiento de aguas residuales**

#### **a. Microorganismos eficientes**

Enfrentarse así de grandioso con un título casi épico como el de este capítulo puede no ser muy motivador para un público poco proclive a la problemática ecológica. Sin embargo, si traspasamos ese contexto, nos damos cuenta que vamos a descubrir y conocer la apasionante vida de los microorganismos útiles también conocidos como microorganismos eficientes (ME). Una tecnología que evita el envenenamiento planetario y de nuestro cuerpo (Higa y Teruo, 2002).

Un ME es un concentrado líquido que contiene alrededor de 80 variedades de microorganismos que incluyen tanto especies aeróbicas que respiran oxígeno como

anaeróbicas tipo fotosintéticas y cuyo logro es que coexistan y se complementen lo que les confiere un alto poder antioxidante.

Descubiertos por casualidad a finales de los años setenta, hoy la tecnología ME está a disposición en todo el mundo. Algunos países como Brasil se han convertido en líderes con una producción de más de 700 toneladas mensuales aplicadas a la agricultura y ganadería (Higa y Teruo, 2002).

#### **b. ¿Qué es el ME?**

Los microorganismos eficientes conocidos por sus siglas –ME-, son una mezcla de tres grupos de microorganismos completamente naturales que se encuentran comúnmente en los suelos y alimentos.

#### **c. Composición microbiológica**

- a. *Lactobacillus* sp, similares a los que se utilizan para fabricar el yogur y los quesos.
- b. Levaduras (*Saccharomyces spp*), como las que se emplean para elaborar el pan, la cerveza o los vinos.
- c. Bacterias fototróficas o fotosintéticas (*Rhodopseudomona spp*), habitantes comunes de los suelos y de las - raíces de las plantas.

Estos microorganismos no son para nada peligrosos, tóxicos, ni genéticamente modificados por el hombre; por el contrario, son completamente naturales y benéficos.

#### **d. ¿Cómo funciona el ME?**

Debido a la presencia de bacterias fotosintéticas en su composición, tiene la propiedad de neutralizar los malos olores y prevenirlos. Las bacterias fotosintéticas transforman las sustancias que producen olores desagradables (metano, mercaptano, ácido sulfhídrico, amoníaco, etc). en ácidos orgánicos que no producen mal olor y que no son nocivos para el hombre. En ese sentido se puede emplear el ME en graseras, baños, cocinas,

habitaciones con olor a humedad o a humo de tabaco, zapatos, ropas y en lugares ocupados por animales domésticos, perros u otros animales, etc.

Los lactobacilos o bacterias ácido lácticas producen sustancias que aceleran la descomposición de la materia orgánica, por lo cual el ME permite acelerar el período de compostaje de sustratos. Las levaduras por su parte producen sustancias que actúan como hormonas naturales y que promueven el crecimiento y el desarrollo de los organismos (proliferación).

Los microorganismos eficientes inducen a la materia orgánica al proceso de descomposición rápidamente por la vía de la fermentación y no de la putrefacción, obteniendo como resultado materia orgánica libre de malos olores y/u otros agentes patógenos causantes de enfermedades.

#### **e. Tratamiento de aguas residuales con ME**

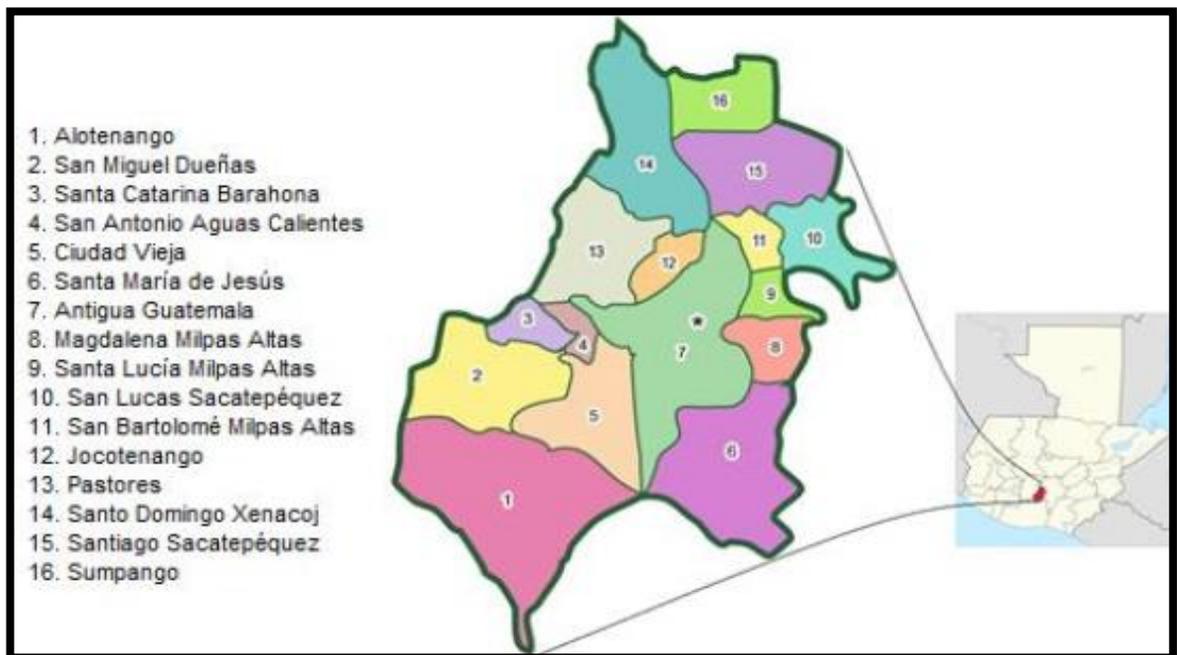
El ME tiene la capacidad de suprimir los microorganismos patógenos de las aguas residuales y de eliminar el mal olor de las mismas. Además, el uso de estos en plantas de tratamiento de aguas residuales produce la reducción de la contaminación orgánica (DBO) y química (DQO), y al mismo tiempo reducirá el volumen de los lodos producidos (BID, 2009).

## 2.2.2. Marco referencial

### A. Ubicación y localización

El municipio de San Lucas Sacatepéquez se localiza a 29 km de la ciudad de Guatemala, y a 14 km de su cabecera departamental, Antigua Guatemala, con una altitud promedio de 2,081 m s.n.m.

Es la cabecera municipal del municipio del mismo nombre y dentro de la división político-administrativa pertenece al departamento de Sacatepéquez. Este municipio colinda al Norte, con los municipios de Santiago Sacatepéquez y Mixco, al Sur, con Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas; al Este, con los municipios de Mixco y Villa Nueva; y al Oeste, con San Bartolomé Milpas Altas y Santa Lucía Milpas Altas. Posee una extensión territorial de aproximadamente 27.35 km<sup>2</sup> (INE 2009), en la figura 7 se observa la división política del municipio de San Lucas Sacatepéquez.



Fuente. Rabanales, 2015.

Figura 7. División Política del Departamento de Sacatepéquez.

El experimento se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales, de “Chichorín”, ubicada en el cantón Chichorín, la planta de tratamiento está ubicada en el km 30.5. Inició sus operaciones en el año 2,010 y está basada en un sistema de tratamiento de tipo biológico aeróbico con base a lodos activados con aireación extendida. Actualmente recolecta aguas servidas de: Jardines de San Lucas I, mercado El Monumento, 2<sup>a</sup> ave. Sur zona 2 callejón Vivero el Paraíso, callejón Shell, callejón Esso, plan El Mora, colonia Dos Robles y cantón Chichorín, con un total de 143 servicios (Rabanales, 2015).

La figura 8 muestra la red de alcantarillado y los sectores que conducen sus aguas a la planta de tratamiento de aguas residuales de Chichorín.



Fuente: Rabanales Bravo, 2015.  
Figura 8. Guatemala, Sacatepéquez, San Lucas.

## **B. Aspectos Legales**

El agua como un elemento arbitrio es introducido al marco legal nacional por la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (1987), cuya responsabilidad recaía en el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Como uno de los objetivos de regulación de esta ley, aplica en todo sentido las medidas preventivas, correctivas y prohibitivas.

Por ley, artículo 15 dice: El gobierno deberá velar por el mantenimiento de la cantidad de 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 (Decreto No. 68-86, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente):

Inciso a. Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento mediante análisis periódicos sobre sus características físicas, químicas y biológicas.

Inciso c. Revisar permanentemente los sistemas de disposición de aguas servidas o contaminadas para que cumplan con las normas de higiene y saneamiento ambiental.

Inciso e. Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas.

Inciso g. Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el desarrollo adecuado de las especies.

Inciso j. Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala.

Inciso k. Investigar, prevenir y controlar cualesquiera otras causas o fuentes de contaminación hídrica.

Como se ve, Guatemala cuenta con una legislación para el agua que vela y exige el cumplimiento de dichos artículos, pero todo esto se queda únicamente en papel porque los hechos revelan lo contrario.

Hablando directamente sobre aguas residuales y descargas, el país también cuenta con el acuerdo gubernativo No. 236-2006 **“REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS”**.

El objeto del reglamento de descargas es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reutilización de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Todo esto con el fin de establecer procesos continuos que permitan:

- 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 integral.

Según el artículo 3, compete la aplicación de ley al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, las municipalidades y otras instituciones de gobierno deberán hacer conocimiento a dicho ministerio los sucesos contrarios a estas disposiciones, para efectos de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

Teniendo en cuenta todos los enunciados anteriores citados en ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente y el acuerdo gubernativo no. 236-2006, es necesario evaluar las aguas de descarga en cuadro 5.

Cuadro 5. Límites máximos permisibles, según acuerdo Gubernativo 236-2006.

<b>Parámetros</b>	<b>Dimensional</b>	<b>Etapas 2</b>
Sólidos en suspensión	mg/L	400
Coliformes totales	NMP/100mL	$1 \times 10^5$
DBO	mg/L	250

Fuente: elaboración propia, 2016.

Los valores representados en el cuadro 5, están enfocados hacia la etapa de cumplimiento no. 2, cuya fecha límite fue el dos de mayo de 2015.

### **C. Solución de ME**

El producto que se usó para este estudio, fue una solución de microorganismos efectivos endógenos, que están siendo desarrollados por una casa de formulación de productos biológicos para uso de la agroindustria. Esta solución de ME es objeto de análisis y evaluaciones en diferentes aplicaciones, para este caso, el tratamiento de aguas residuales.

La solución de ME, es un líquido de color amarillo oscuro, ligero sabor dulce y olor agradable, contiene una mezcla de bacterias ácido lácticas, levaduras y bacterias fotosintéticas.

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto que causan los microorganismos efectivos (ME), en aguas residuales.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

1. Determinar si la aplicación de microorganismos efectivos reduce los índices de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
2. Determinar si la aplicación de microorganismos efectivos reduce los índices de demanda química de oxígeno (DQO).
3. Determinar si la aplicación de microorganismos efectivos reduce los índices de sólidos en suspensión.
4. Determinar si la aplicación de microorganismos efectivos reduce la turbidez.
5. Determinar si la aplicación de microorganismos efectivos reduce los índices de contaminación bacteriológica por coliformes totales.

## **2.4. HIPÓTESIS**

La aplicación de soluciones naturales de microorganismos eficientes para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias reducirán los índices en los parámetros de DBO, DQO, sólidos en suspensión, coliformes totales y turbidez.

## **2.5. METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo el experimento de investigación, se usaron las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas, “Chichorín”.

El experimento fue conformado por una serie de pasos que se realizaron ordenadamente para asegurarnos que los datos obtenidos fueran los más exactos y brinden la información correcta. Estos procesos están descritos de mejor manera en el apartado 2.5.4, manejo del experimento.

### **2.5.1. Metodología estadística no paramétrica**

Para el análisis de las variables se utilizó estadística no paramétrica donde el factor principal fue la respuesta de los tratamientos con respecto al testigo. El esquema que se utilizó fue 5 tratamientos incluyendo el testigo y 3 repeticiones, dando un total de 15 unidades de muestreo. Las características del experimento fueron las siguientes.

Tamaño de la unidad experimental:

- Número de unidades experimentales: 15
- Capacidad de las unidades: 45 gal
- Duración del experimento: 24 días

### **2.5.2. Tratamientos**

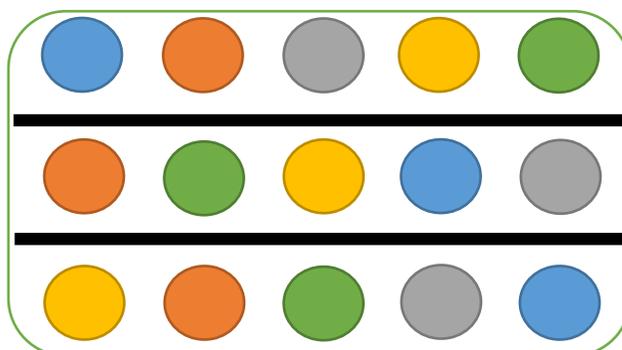
En el cuadro 6 se muestra la descripción de los tratamientos y la dosificación respectiva.

Cuadro 6. Descripción de tratamientos

Tratamiento	Color del tratamiento	Producto	Dosis (cm <sup>3</sup> )	Dosis/tonel (cm <sup>3</sup> )
1		TESTIGO ABSOLUTO	0	0
2		ME BM Agro	500	85.0
3		ME BM Agro	750	127. 5
4		ME BM Agro	1000	170.0
5		ME BM Agro	1250	212.5

Fuente: elaboración propia, 2016.

Como se puede apreciar en la figura 9, se muestra el croquis del experimento en campo, los círculos representan los toneles que fueron utilizados para el experimento, y en este caso los distintos colores representan los diferentes tratamientos aleatorizados.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 9. Croquis de campo.

### 2.5.3. Descripción de las variables

#### A. Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la medida de oxígeno que requieren microorganismos aclimatados para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales.

#### B. Demanda química de oxígeno (mg O<sub>2</sub>/L)

La demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente las sustancias orgánicas presentes.

#### C. Sólidos en suspensión (mg/L)

Los sólidos en suspensión pueden ser restos de material orgánico no degradado, igual que partículas como arcillas, limos y arenas. Son una fracción del total de sólidos en el agua que pueden ser separados por filtración a través de un papel de filtro estandarizado.

#### D. Turbidez

La turbidez es la expresión empleada para describir las partículas insolubles de arcilla, limo, material mineral, restos orgánicos no degradados, plancton y otros organismos microscópicos que impiden el paso de la luz a través del agua.

#### E. Coliformes totales

Los coliformes son un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua. Coliforme viene de la palabra *coli*, refiriéndose a la bacteria principal del grupo, la *Escherichia coli*. Estas bacterias están directamente relacionadas a la contaminación fecal.

### **2.5.3. Manejo del experimento**

#### **A. Preparación de los toneles**

Los toneles metálicos que se utilizaron estaban sellados en la parte superior, para poder utilizarlos de forma adecuada fue necesario destaparlos con cincel y martillo ya que algunos de estos contenían solventes y gases volátiles y otros resinas y pinturas. Después de haberlos destapado fue necesaria una limpieza profunda para eliminar materiales que pudieran haber afectado los resultados de la investigación.

El proceso de limpieza demoró una semana, fue necesario utilizar solventes industriales para eliminar las resinas y pinturas.

#### **B. Llenado de toneles**

Los 15 toneles que se utilizaron fueron llenados con cubeta en las primeras horas de la mañana con la ayuda de personal designado de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez. Se llenaron a primera hora porque es cuando empieza la actividad más fuerte en cuanto al uso de servicios sanitarios, lavabos, entre otros.

#### **C. Aplicación de los ME**

El producto “solución BM Agro” fue aplicado en dosis especiales por tratamiento en cada una de las unidades, las dosis son las siguientes: 0 cm<sup>3</sup>, 85 cm<sup>3</sup>, 127 cm<sup>3</sup>, 170 cm<sup>3</sup> y 212.5 cm<sup>3</sup>. Para su aplicación se usaron recipientes con medidas volumétricas para que fuera lo más exacto posible.

#### **D. Procesos de maduración**

Para asegurarnos que los resultados fueran los más acertados, fue necesario realizar ciertas actividades posteriores a la aplicación del producto y a estas las llamamos procesos de maduración.

Uno de estos fue revolver el agua residual los primeros dos días del experimento para poder asegurarnos que la acción de los ME fuera homogénea y de esta forma oxigenar las unidades (toneles).

Para determinar el número de días que duraría el experimento en evaluación, se hicieron mediciones de turbidez con la ayuda de un disco Secchi. El experimento llegó a su final 24 días después de iniciado cuando se pudo constatar un incremento en la turbidez del agua de forma alarmante e irregular, para el día 24 la turbidez no permitía ver por debajo de 4 cm de profundidad.

#### **E. Recolección de muestras finales**

Se tomó 1 L de cada una de las unidades de análisis por tratamiento, estos se mezclaron y se conformó una muestra compuesta por tratamiento. Las muestras fueron recolectadas en plástico previamente esterilizado, el recipiente se llenó evitando cualquier cámara de aire. Para las muestras de coliformes se hizo uso de envases plásticos de boca ancha previamente esterilizados.

Las muestras fueron recolectadas en campo a 24 días de haber iniciado el experimento. La toma de muestras se hizo por tratamiento y fueron enviadas al laboratorio para su análisis.

#### **F. Metodología del análisis e interpretación de datos**

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio del INFOM, 15 días después se obtuvieron los resultados para su análisis e interpretación, de esta forma se pudo conocer el efecto que producen los ME en el tratamiento del agua residual. Las variables evaluadas por el laboratorio fueron, DBO, DQO, sólidos en suspensión y coliformes totales. La variable turbidez fue evaluada por el autor, la metodología será descrita a continuación.

### **G. Determinación de la turbidez**

Para determinar la turbidez del agua se utilizó un disco de Secchi y un tubo de PVC graduado, con escala en centímetros para poder hacer las lecturas de profundidad.

Se fabricó el disco de Secchi con un CD de música, es un círculo plano de color blanco y negro, este disco se le colocó un tubo de plástico con medidas, haciéndole muescas con la ayuda de una regla, el disco de Secchi va unido en el extremo del tubo. Para tomar las lecturas, se introdujo verticalmente dentro de las unidades de muestreo, al momento en que se perdió la visibilidad del disco se registró la profundidad.

Los resultados obtenidos por medio de este ensayo fueron sencillos de interpretar. El fundamento del análisis fue determinar a qué profundidad se hizo invisible el disco de Secchi. Los resultados se representaron en un cuadro donde se relacionó profundidad y el día en el cual se realizó el muestreo.

### **H. Obtención de eficiencia de aplicación**

Para obtener la eficiencia de las aplicaciones para cada variable, la metodología fue sencilla y se realizó una regla de tres.

El testigo que no contenía producto, representaba el 0 % sobre la eficiencia. Primero se resta el valor obtenido de cada tratamiento del valor absoluto del testigo. El resultado obtenido se multiplicó por 100 y posteriormente se dividía por el valor total del testigo. De esa forma obteníamos un porcentaje de eficiencia.

Ecuación:

$$(V_{AbsTest} - V_{AbsTrat}) * 100 / V_{AbsTest}$$

Donde:

$V_{AbsTest}$  = Valor absoluto del testigo

$V_{AbsTrat}$  = Valor absoluto tratamiento

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.6.1. Turbidez

La turbidez del agua residual dentro de las unidades de muestreo incrementó en relación al tiempo, en el día 1 del experimento la profundidad de visibilidad era de 11 cm, el agua residual tenía un color café, típico de agua con elevada carga de materia orgánica y heces fecales. El día 4 la visibilidad disminuyó a 9 cm, entre los días 8 y 12 la visibilidad disminuyó y se mantuvo en 6 cm, al día 16 este valor siguió disminuyendo a 5 cm y entre los días 20 y 24 disminuyó a 4 cm en el cuadro 7.

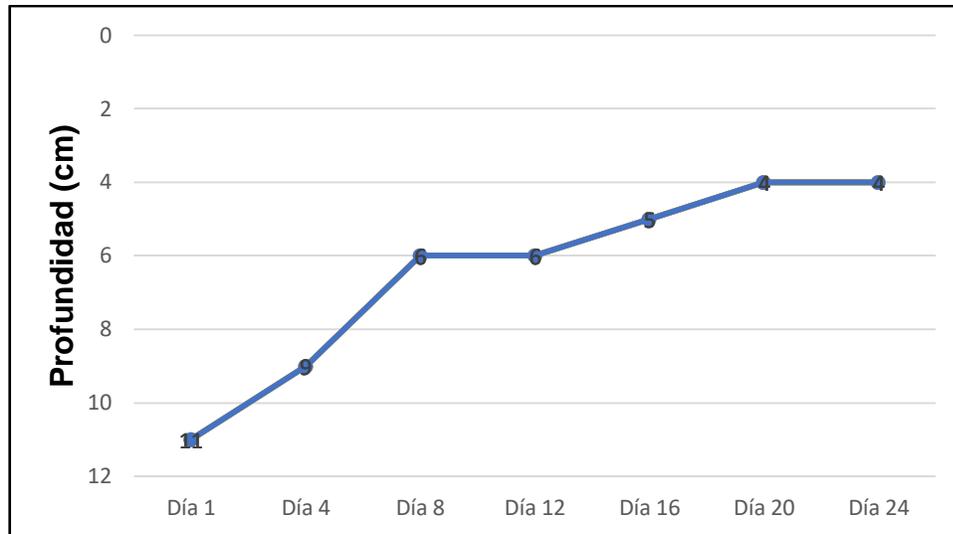
Cuadro 7. Turbidez del agua residual obtenida de 7 muestreos realizados durante un periodo de 24 días, tras aplicación de ME en agua residual municipal.

Tratamiento	Unidad	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12	Día 16	Día 20	Día 24
0 cm <sup>3</sup>	cm	11	9	6	6	5	4	4
85 cm <sup>3</sup>	cm	11	9	6	6	5	4	4
127 cm <sup>3</sup>	cm	11	9	6	6	5	4	4
170 cm <sup>3</sup>	cm	11	9	6	6	5	4	4
212.5 cm <sup>3</sup>	cm	11	9	6	6	5	4	4

Fuente: elaboración propia, 2016.

En el cuadro 7, la turbidez del agua residual de las 7 muestras analizadas incrementa al paso de los días.

Los ME no tuvieron un efecto positivo para esta variable, las bacterias anaerobias contenidas dentro de la solución de microorganismos consumieron el oxígeno disuelto, indispensable para su supervivencia, al no haber oxígeno disuelto los microorganismos aeróbicos desaparecieron dando lugar al desarrollo de bacterias anaeróbicas (figura 10).



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 10. Representación gráfica del comportamiento de la turbidez en relación a los días durante el ensayo.

En la figura 10, se observó el comportamiento de la turbidez en relación a los días, al no recibir oxigenación o movimiento, el único oxígeno disponible era en formas químicas como nitratos ( $\text{NO}_3$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4$ ) y fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), estos fueron degradados dando como subproducto gases volátiles de sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ) propios de condiciones sépticas y causantes del olor característico. Durante este proceso la materia orgánica no biodegradable fue usada como fuente de carbono por las bacterias y trasformada en excretas color negro producto del metabolismo, esto afectó la turbidez del agua a tal grado que al día 20 de montado el ensayo, el disco de Secchi solo se logró leer a los 4 cm de profundidad. Es por esta razón que a las aguas residuales estancadas les llaman aguas negras (E. Asturias, 2016).

El color es uno de los parámetros más sencillos de determinar y su observación permite visualizar el estado general del proceso (R. Rojas, 1999) que se da lugar en las unidades de muestreo en el cuadro 8 se observa la descripción del indicador visual de los niveles de oxígeno disuelto.

Cuadro 8. Color del agua residual como un indicador visual de los niveles de oxígeno disuelto.

Color	Indicador
Verde oscuro brillante	Bueno, pH alto, oxígeno disuelto alto
Verde opaco a amarillo	Regular, pH y oxígeno disuelto en disminución
Gris o negro	Malo, laguna anaeróbica, malos olores, producción de metano.
Rojo a rosado	Presencia de bacterias púrpuras del azufre en lagunas anaeróbicas, presencia de algas rojas

Fuente: Romero Rojas, 1999.

En el cuadro 8, se observan las condiciones generadas por el proceso anóxico del agua residual lo que provocó el aumento de la turbidez, evitando el ingreso de luz natural al sistema y en ausencia de luz, las bacterias fotosintéticas murieron y otras se inactivaron (Asturias, 2016) afectando el rendimiento de los ME en general.

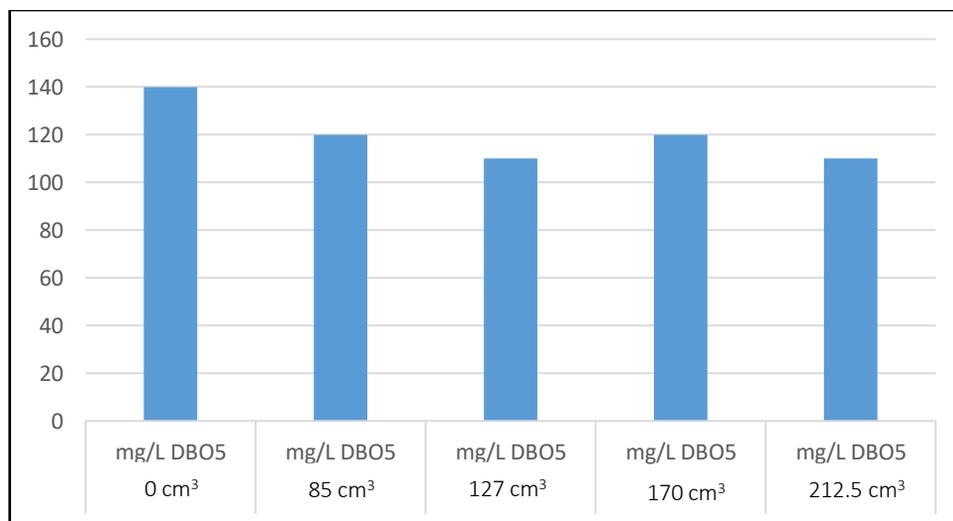
### 2.6.2. Demanda bioquímica de oxígeno, (DBO<sub>5</sub>)

Hubo una disminución de la demanda bioquímica de oxígeno comparado con el testigo en un 14.25 % para el tratamiento donde se aplicaron 85 cm<sup>3</sup>, una disminución de 21.42 % en la aplicación de 127 cm<sup>3</sup>, de nuevo un 14.25 % para el tratamiento de 170 cm<sup>3</sup> y un 21.42 % para la prueba donde se aplicaron 212.5 cm<sup>3</sup>, ver cuadro 9.

Cuadro 9. Demanda bioquímica de oxígeno obtenida después de 24 días de evaluación tras aplicación de ME en agua residual municipal.

Tratamiento	DBO <sub>5</sub> mg/L	Eficiencia %
0 cm <sup>3</sup>	140	-----
85 cm <sup>3</sup>	120	14.25
127 cm <sup>3</sup>	110	21.42
170 cm <sup>3</sup>	120	14.25
212.5 cm <sup>3</sup>	110	21.42

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 11. Representación gráfica de la demanda bioquímica de oxígeno, expresada en mg/L 24 días después de la aplicación de ME.

En la Figura 11, se observa disminución del DBO en todos los tratamientos donde se aplicaron microorganismos. Los resultados no fueron lo significativos, debido a la ausencia de oxígeno disuelto en las unidades de muestreo, necesario para la oxidación de la materia orgánica, este fue consumido en su totalidad durante las primeras 72 horas de haber transcurrido el experimento por bacterias aeróbicas.

### 2.6.3. Demanda química de oxígeno, (DQO)

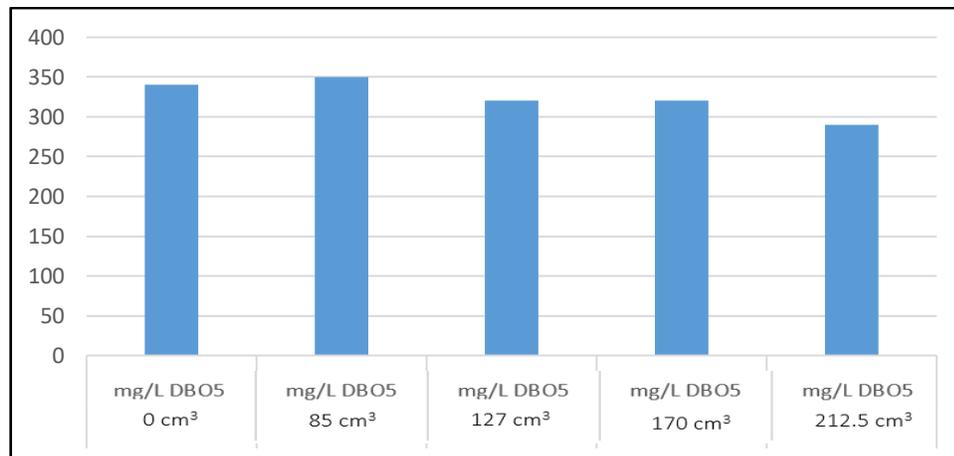
Los análisis de laboratorio para la DQO, indican que no hubo efecto contrastante entre los tratamientos y el testigo. El tratamiento donde se aplicaron 85 cm<sup>3</sup>, el resultado obtenido (350 mg/L) con una eficiencia de -2.94 %, para el tratamiento de 127 cm<sup>3</sup>, (320 mg/L) con una eficiencia de 5.88 % al igual que el tratamiento de 170 cm<sup>3</sup> y para el tratamiento de 212.5 cm<sup>3</sup>, el resultado (290 mg/L) siendo el más efectivo con un 14.70 %, ver cuadro 10.

Cuadro 10. Demanda química de oxígeno obtenida después de 24 días de evaluación tras aplicación de ME en agua residual municipal.

<b>Tratamiento</b>	<b>DQO mg/L</b>	<b>Eficiencia %</b>
0 cm <sup>3</sup>	340	-----
85 cm <sup>3</sup>	350	-2.94
127 cm <sup>3</sup>	320	5.88
170 cm <sup>3</sup>	320	5.88
212.5 cm <sup>3</sup>	290	14.70

Fuente: elaboración propia, 2016.

Los ME tuvieron un efecto mínimo en la reducción del DBO y DQO, debido a que estos únicamente hicieron su trabajo durante los primeros 3 días de iniciado el experimento, periodo en el cual, aún existía oxígeno disuelto para la degradación de la materia orgánica. Ver Figura 12.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 12. Representación gráfica de la demanda química de oxígeno, expresada en mg/L, 24 días después de la aplicación de ME.

En la Figura 12, se observa que DBQ y DQO tiene relación directa con los niveles de oxígeno que son indispensables para la degradación química de la materia orgánica. En ausencia de oxígeno disuelto, la degradación química del material orgánico no tuvo mayor cambio, y los resultados obtenidos no denotan un efecto positivo relevante. También hay q tomar en consideración que las condiciones químicas generadas por detergentes y productos de limpieza, también pudieron haber afectado la población microbiana de ME (Szymanski & Patterson, 2003), afectando el resultado de DQO y DQO.

#### 2.6.4. Sólidos en suspensión

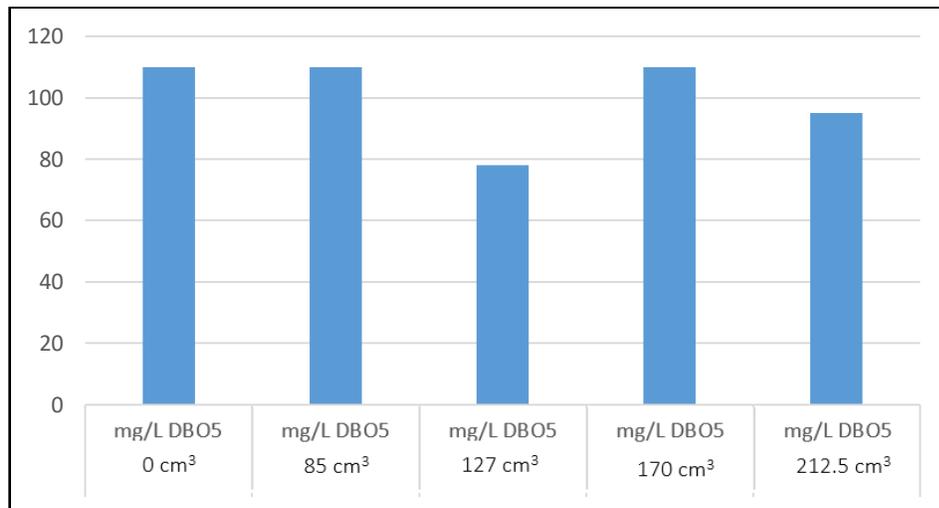
En los tratamientos de 85 cm<sup>3</sup> y 170 cm<sup>3</sup> no hubo cambio alguno en relación al testigo. En los tratamientos donde se aplicaron 127 cm<sup>3</sup>, el resultado (78 mg/L) teniendo una eficiencia de 29.09 % seguidamente del tratamiento 212.5 cm<sup>3</sup> el resultado obtenido (95 mg/L) con una eficiencia de 13.63 %. La digestión de sólidos orgánicos se efectúa más rápidamente a temperaturas que favorecen el desarrollo de bacterias termófilas entre 50 °C a 60 °C (Pelczar, Reid, Chan, 1982). Ver cuadro 11.

Cuadro 11. Sólidos en suspensión obtenidos después de 24 días de aplicación de ME en agua residual municipal.

Tratamiento	mg/L	Sólidos en suspensión
0 cm <sup>3</sup>	110	----
85 cm <sup>3</sup>	110	0
127 cm <sup>3</sup>	78	29.09
170 cm <sup>3</sup>	110	0
212.5 cm <sup>3</sup>	95	13.63

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Durante el periodo de tiempo en el que se realizó el ensayo, la temperatura media osciló entre los 15 °C y los 18 °C, desfavoreciendo totalmente la degradación de materia orgánica sin tomar en consideración los bajos niveles de oxígeno disuelto indispensables para este proceso. Ver figura 13.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 13. Representación gráfica de los sólidos en suspensión expresado en mg/L, 24 días después de la aplicación de ME.

### 2.6.5. Coliformes totales

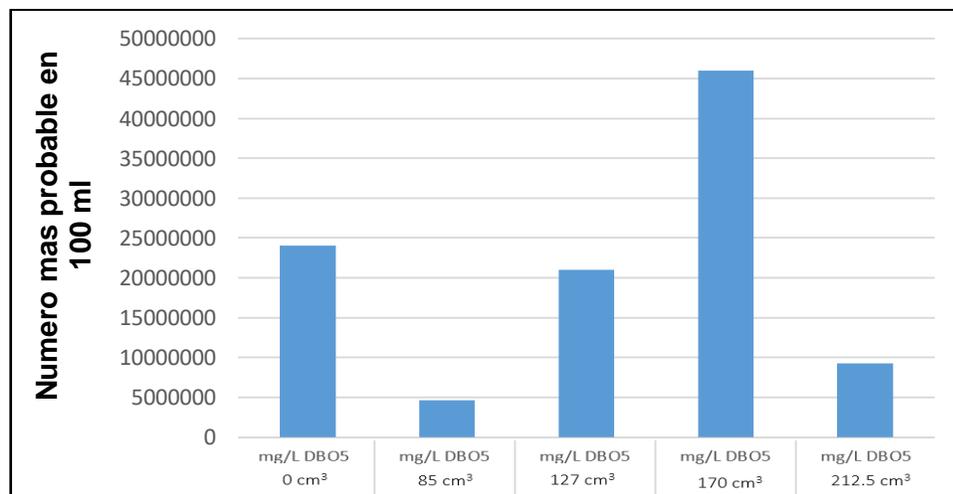
En los tratamientos donde se aplicaron 85 cm<sup>3</sup>, 127 cm<sup>3</sup> y 212.5 cm<sup>3</sup> la cantidad de coliformes totales descendió en comparación con el testigo: 4.6x10<sup>5</sup>, 2.1x10<sup>6</sup> y 9.3x10<sup>5</sup> (número más probable en 100 mL de muestra) con una eficiencia por tratamiento de 80.83 %, 12.5 % y 61.25 % respectivamente, ver cuadro 12.

Cuadro 12. Coliformes totales obtenidos después de 24 días de evaluación tras aplicación de ME en agua residual municipal, en los tratamientos respectivos

Tratamiento	*NMP/100 mL	Eficiencia %
0 cm <sup>3</sup>	2.4x10 <sup>6</sup>	----
85 cm <sup>3</sup>	4.6x10 <sup>5</sup>	80.83
127 cm <sup>3</sup>	2.1x10 <sup>6</sup>	12.5
170 cm <sup>3</sup>	4.6x10 <sup>6</sup>	-91.66
212.5 cm <sup>3</sup>	9.3x10 <sup>5</sup>	61.25

\*NMP: Numero más probable en 100 mililitros

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 14. Representación gráfica del número más probable en 100 ml de muestra de coliformes totales, 24 días después de la aplicación de ME, en los tratamientos.

En la figura 14, se observó en relación al tratamiento de 170 cm<sup>3</sup>, un efecto negativo y se incrementó el número de bacterias coliformes a  $4.6 \times 10^6$  con una deficiencia de 91.66 %. Los valores obtenidos tienen mucha diferencia entre sí, no se puede asegurar los factores que influyeron en los resultados, hay que considerar que las alteraciones en las poblaciones microbianas en cierto nivel trófico pueden tener repercusiones en toda la comunidad bacteriana (Linich, 2001).

La variabilidad entre los diferentes tratamientos en relación a la disminución de coliformes es contradictoria. El tratamiento donde se aplicaron 85 cm<sup>3</sup> presentó el resultado más bajo, esta concentración de ME brindó condiciones propicias para que las colonias de bacterias coliformes se redujeran a 460,000 por ml. Donde se aplicaron 170 cm<sup>3</sup>, la duplicación de la dosis tuvo el efecto contrario, las bacterias coliformes aumentaron en un 52 % llegando a 46,000,000.

Los ME son organismos hospederos y en la variación de las condiciones estos pueden cambiar su atención a diferentes factores como metales pesados u otros componentes (Cedillo, 2016), de igual forma los cambios en las poblaciones microbianas pudieron influir en el pH, el medio y las condiciones del sistema séptico (Linich, 2001) sin mencionar el rendimiento de los organismos evaluados.

Con base al acuerdo Gubernativo 236-2006 los valores de coliformes en todos los tratamientos, sobrepasan el límite máximo permisible que es  $1 \times 10^5$ , por lo tanto estas aguas no están aptas para su descarga en cuerpos receptores.

En términos generales de acuerdo a la forma como se llevó a cabo la investigación (proceso anaeróbico), la aplicación de la solución de ME no tuvo efecto positivo regular en la descontaminación de las variables evaluadas.

También hay que tomar en consideración que se desconocía el contenido y la naturaleza de las aguas residuales por no haberla caracterizado previamente, esto brinda un escenario diferente y desconocido.

Evaluamos microorganismos biológicos, y desde el punto de vista de la ecología, las aguas negras representan uno de los ambientes microbiológicos más complicados.

Hay que considerar también que entre las especies ocurren interacciones que producen resultados no característicos (Pelczar, Reid, Chan, 1982).

## 2.7. CONCLUSIONES

1. Se determinó que la aplicación de ME, no redujo la turbidez, esto fue provocado por el proceso anóxico y la coloración negra característica de las lagunas anaeróbicas, lo que redujo el ingreso de luz disminuyendo la profundidad de visión.
2. Se determinó que la aplicación de ME, no redujo el DBO. Esto se debió a la falta de oxígeno disuelto disponible, la forma como se montó el ensayo que fue en toneles, donde el oxígeno fue mínimo originando un proceso anaeróbico, y este repercutió directamente en la respiración de los organismos encargados de la degradación biológica de la materia orgánica, llevándolos a su muerte o inactivación.
3. Se determinó que la aplicación de ME, no redujo el DQO. Al igual que la DBO, los EM únicamente hicieron efecto durante los primeros 3 días de iniciado el ensayo, periodo de tiempo cuando aún había oxígeno disponible para el proceso de degradación.
4. Se determinó que la aplicación de ME, no redujo los sólidos en suspensión. De igual forma que con la DBO y DQO la ausencia de oxígeno y más la temperatura media durante el ensayo, propiciaron condiciones que evitaron la degradación de la materia orgánica de forma efectiva.
5. Se determinó que la aplicación de ME no redujo los coliformes totales para este ensayo. La variabilidad entre los valores de cada tratamiento no permite asegurar el buen rendimiento de los microorganismos.

## 2.8. RECOMENDACIONES

1. Caracterizar el agua residual al inicio del experimento, para conocer la naturaleza y distintos elementos que la componen, teniendo en cuenta que puede haber elementos tóxicos que afecten la vida de los organismos y por ende los resultados del ensayo.
2. Monitorear el comportamiento de las variables objetivo en relación al tiempo y el curso de los días, esto para generar gráficas y conocer los cambios en distintas etapas.
3. Es muy importante llevar un control y monitorear el comportamiento del oxígeno disuelto, vital en los procesos de degradación de materia orgánica. También tomar esta metodología y duplicarla incluyendo un sistema de oxigenación constante, con el fin de recrear condiciones aeróbicas y anaeróbicas y de esta forma conocer el efecto que los ME producen para ambos escenarios.

## 2.9. BIBLIOGRAFÍA

1. AMSA (Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán, Guatemala). s.f. Situación de los lagos en Guatemala, tema de Foro en la USAC (en línea). Guatemala. Consultado 20 nov. 2011. Disponible en <http://www.amsa.gob.gt/blog/?p=1633>
2. Asturias, E. 2016. Proceso anóxico en aguas residuales estancadas (laguna anaeróbica) y su efecto en el nivel de oxígeno disuelto (entrevista). Guatemala, UNEPAR / INFOM.
3. Barrientos, EH; Tello, YJ; Tito, PC; Palomino, GC. 2015. Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de Kuychiro, Cuzco, Perú. Perú, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cuzco. 20 p.
4. Cánepa de Vargas, L; Pérez Carrión, J. 1992a. Manual I, el agua - calidad y tratamiento para consumo humano. Lima, Perú, OPS / CEPIS. p. 45-50.
5. \_\_\_\_\_. 1992b. Manual I, II y III; teoría y evaluación; diseño, operación, mantenimiento y control. Lima, Perú, OPS / CEPIS. p. 1.
6. Caplan, JA. 1993. The worldwide bioremediation industry. Prospects for Profit, Trends in Biotechnology 11:320-323.
7. Congreso de la República de Guatemala, Guatemala. 1986. Decreto no. 68-86: ley de protección y mejoramiento del medio ambiente. Guatemala. 13 p.
8. Crites, R; Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Santa Fe de Bogotá, Colombia, McGraw Hill. p.170-179.
9. El Periódico, Guatemala. 2009. Agonizan los cuatro lagos más grandes de Guatemala (en línea). Taringa. Consultado 20 nov. 2011. Disponible en <http://www.taringa.net/posts/noticias/4144714/Agonizan-los-cuatro-lagos-mas-grandes.html>
10. Eweis, JB; Ergas, SJ; Chang, DPY; Schroeder, ED. 1999. Principios de biorremediación; tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelo y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos. Madrid, España, McGraw-Hill. 323 p.
11. Fernández Pérez, R. 2012. Información sobre contaminación del agua (en línea). Consultado 31 mar. 2015. Disponible en <http://www.contaminacionpedia.com/informacion-contaminacion-agua/>

12. Gerard, K. 1999. Ingeniería ambiental; fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid, España, McGraw-Hill. 440 p.
13. Glynn H, J; Heinke, GW. 1999. Ingeniería ambiental. México, Pearson / Prentice Hall. p. 761.
14. Higa, T. 2002. Una revolución para salvar la tierra. Trad. Ma. del Mar Riera. Okinawa, Japón, EM 3 Research Organization. 352 p.
15. Hilton, AC. 2002. La cuenca y el lago de Amatitlán. Guatemala, Autoridad para el Manejo Sustentable y la cuenca del lago de Amatitlán. 32 p.
16. IARNA (Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, GT). 2012. Perfil ambiental de Guatemala 2010 – 2012. Guatemala. 468 p.
17. INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2008. Anuario estadístico ambiental 2007. Guatemala. 319 p.
18. \_\_\_\_\_. 2011. Encuesta de condiciones de vida 2011. Guatemala. 38 p.
19. Linich, M. 2001. Microbial processes and practical guidance for on-site assessment, on-site. Ed. RA Patterson & MJ Jones. Armindale, Australia, University of New England. p. 253-260.
20. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala). 2003. El canon ambiental por vertidos; un instrumento económico para el control y prevención de la contaminación hídrica en Guatemala. Guatemala. 32 p.
21. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala); IARNA (Universidad Rafael Landívar, Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Guatemala); PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Guatemala). 2009. Informe ambiental del estado GEO. Guatemala. 286 p.
22. Marron, C. 1999. Plantas de tratamiento por filtración lenta: diseño, operación y mantenimiento. Lima, Perú, ITDG. 43 p.
23. O'Sullivan, G. 1991. Wastewater treatment and disposal. *In* Irish Environmental Engineering Conference (1., 1991, Ireland). Proceedings. Ireland, University College Cork. p. 31.
24. OMS; UNICEF. 2010. Progress on sanitation and drinking-water (en línea). Suiza, ONU. Consultado 31 mar 2015. Disponible en [http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water\\_cities.shtml](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cities.shtml)
25. Pelczar, MJ; Reid, RD; Chan, ECS. 1982. Microbiología. México, McGraw-Hill. 480 p.

26. Rabanales, B. 2015. Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Chichorin, del municipio de San Lucas Sacatepéquez, diagnóstico y servicios realizados en la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 87 p.
27. Ramírez, A. 2010. El lago de Amatitlán se puede salvar (en línea). Prensa Libre, Guatemala, p. 13. Consultado 20 nov 2011. Disponible en <http://www.amsa.gob.gt/blog/?p=1739>
28. Rojas, JAR. 2006. Purificación del agua. 2 ed. Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería. p. 15-16.
29. Rojas, R. 1999. Lagunas de estabilización de aguas residuales. Bogotá, Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería. 281p.
30. Szymanski, N; Patterson, RA. 2003. Effective microorganisms (EM) and wastewater systems in future directions for on-site systems: best o management practice. *In* On-site, 03 Conference (3, 2003, Australia). Proceedings. Armidale, Australia, Lanfax Laboratories. p. 347-354.



Polando Ramos



### **CAPÍTULO III**

**EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (EM), PARA APLICACIÓN EN AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO “CHICHORIN”, MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.**

### 3.1. PRESENTACIÓN

Como producto del diagnóstico, los servicios que se describen a continuación tuvieron como objetivo una serie de actividades dentro de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), se basó en el apoyo a la dirección municipal de planificación (DMP) principalmente en: elaboración de estudios de impacto ambiental categoría C para obras y proyectos de categoría municipal y una caracterización de las plantas de tratamiento de aguas municipales.

La dirección municipal de planificación es la unidad que se encarga de planificar, ejecutar y supervisar todas las obras y proyectos municipales. Esta unidad también tiene a su cargo todas las plantas de tratamiento de agua municipal y su mantenimiento.

El aumento de la población y la expansión urbanística que hoy día presenta el municipio ha propiciado un particular interés por parte de la municipalidad en reconocer y activar sus plantas de tratamiento de aguas y adquirir conocimiento técnico sobre el tratamiento de efluentes. A raíz de esta necesidad surge el primer servicio que es una caracterización de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Lucas Sacatepéquez, una descripción general de las plantas de tratamiento, recomendaciones generales y una propuesta para el manejo integral de aguas residuales.

La DMP como unidad que se encarga de la gestión, permisos y licencias, elabora los EIA (Estudios de Impacto Ambiental) para todas las obras y proyectos, así mismo también, la conformación de la documentación técnica y legal para ingresar al MARN. De esta forma surge el segundo servicio en apoyo a la ejecución de proyectos municipales, elaboración de instrumentos ambientales y conformación de papelería técnica legal de los proyectos:

- Mejoramiento calle final La Ponderosa 2 (adoquinamiento), San Lucas Sacatepéquez.

- Construcción escuela primaria oficial urbana mixta República Federal de Centro América zona 1, San Lucas Sacatepéquez (cuarto módulo de aulas).
- Construcción edificio sede asociación de vecinos residenciales Villas de la Meseta, zona 3, San Lucas Sacatepéquez.

### **3.2. SERVICIO 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE SAN LUCAS SACATEPEQUEZ.**

#### **3.2.1. OBJETIVO**

Caracterización y descripción de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Lucas Sacatepéquez y elaboración de una propuesta para el desarrollo del plan de manejo de aguas residuales municipales.

#### **3.2.2. METODOLOGÍA**

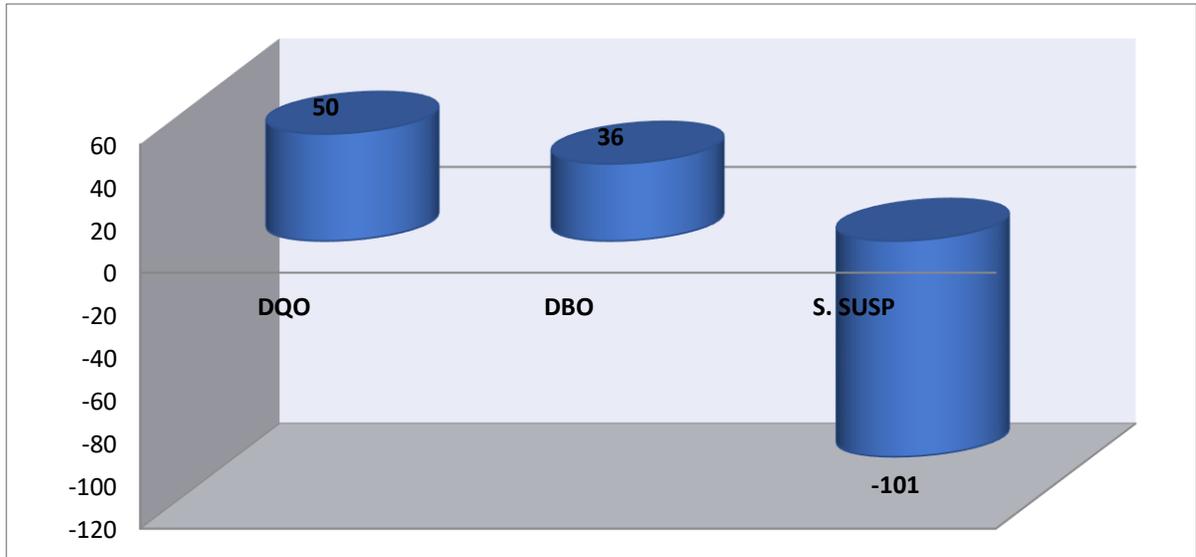
- a) Se recopiló información general de los diferentes sistemas de tratamiento del municipio, resultados de muestreo y análisis de agua, tipo de planta de tratamiento, diseño, eficiencia, etc.
- b) Se realizó visita técnica a las unidades de tratamiento de Chichorín, Chipablo, y Lomas de San José, donde georeferenciaron para mapearlas y realizar las inspecciones correspondientes.
- c) Se ejecutaron muestreos en las plantas de Chipablo, Lomas de San José y Chichorín, y se enviaron al laboratorio para analizar las variables: DBO, DQO y sólidos en suspensión. También se elaboró un gráfico de eficiencia en relación a estos parámetros.
- d) Se brindaron recomendaciones para el mejoramiento de la gestión y el tratamiento de aguas servidas.
- e) Se elaboró una propuesta para el desarrollo del plan de manejo de aguas residuales municipales.

### 3.2.3. RESULTADOS

Cuadro 13. Caracterización de PTAR, cantón Chichorín.

Ubicación	Cantón Chichorín, San Lucas, Sacatepéquez.
Coordenadas geográficas	14°36'3.60"N y 90°40'2.44"O
Estado actual	Si opera
Tipo sistema de tratamiento	Biológico aeróbico con base en lodos activados y aireación extendida.
Fecha de inicio de operación	2007
Distancia del centro de la población	1.5 km
Detalle de los componentes de la PTAR.	1) Rejilla 2) Cámara homogenización 3) Tanque de aireación 4) Tanque de clarificación 5) Tanque para almacenamiento, espesado y digestión de lodos
Lugar de descarga	Quebrada, Rio las Vigas
Frecuencia de control y monitoreo	La planta es controlada por doña Anabela, quien es la persona que vive dentro del terreno destinado para la planta de tratamiento, ella es la encargada del mantenimiento preventivo, es decir limpieza de canales, limpieza de separador de lodos, arenas y grasas y limpieza general de la planta. Actualmente, no se le da un control y monitorio de forma correcta ya que no se tiene información acerca del volumen de agua que recibe en época seca y lluviosa, no existe información de diseño en cuanto capacidad máxima, no posee un estudio técnico de aguas residuales. La planta opera de forma empírica.
ETAR	No tiene

Fuente: Nowell, 2015.



Fuente: Nowell, 2015.

Figura 15. Eficiencia planta de tratamiento Chichorín.



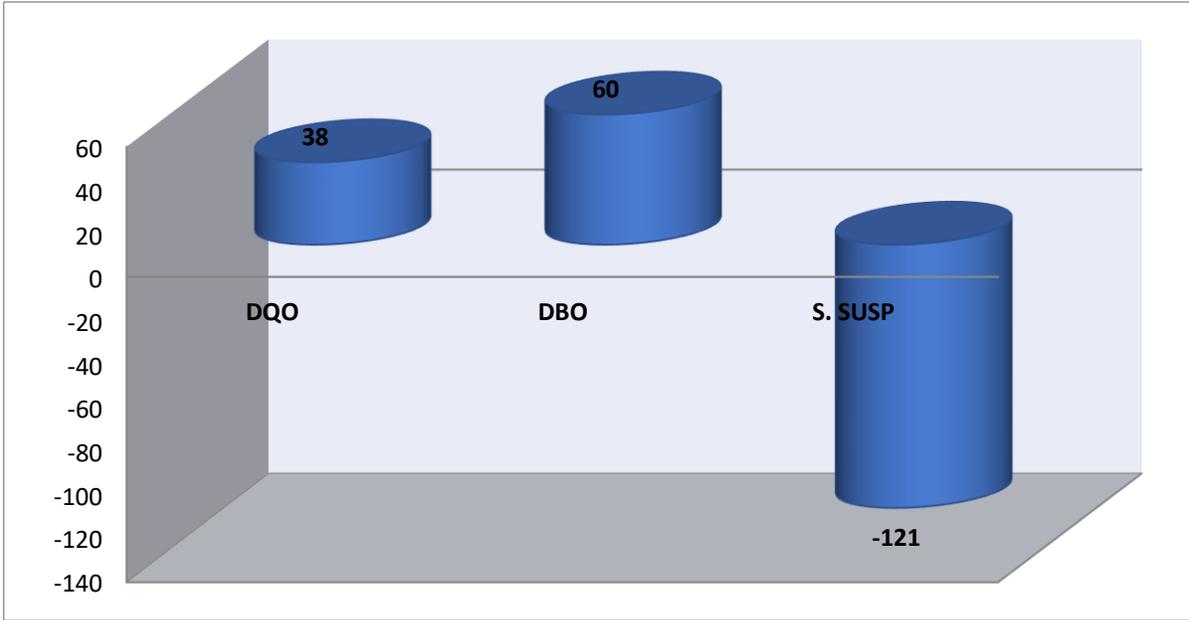
Fuente. Nowell 2017

Figura 16. Planta de tratamiento de aguas de Chichorín

Cuadro 14. Caracterización de PTAR, Lomas de San José.

Ubicación	Lomas de San José, San Lucas, Sacatepéquez.
Coordenadas geográficas	14°35'40.50"N y 90°39'29.80"O
Estado actual	En operación (abandono)
Tipo sistema de tratamiento	Anaeróbico
Fecha de inicio de operación	2011 (fecha de construcción)
Distancia del centro de la población	1.66 Kms.
Detalle de los componentes de la PTAR.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reja de metal</li> <li>2. Desarenador</li> <li>3. Trampa de flotantes</li> <li>4. Reactor anaeróbico de flujo</li> <li>5. Filtro percolador</li> <li>6. Clarificador</li> <li>7. Patio de secado de lodos.</li> </ol>
Instrumento de evaluación ambiental aprobado	Sí tiene instrumento de evaluación ambiental aprobado.
Lugar de descarga	Quebrada
Frecuencia de control y monitoreo	La planta actualmente se encuentra en abandono, un pequeño flujo ingresa a la planta de tratamiento haciendo ver sobredimensionada la obra. Se puede observar que no ha recibido mantenimiento alguno en mucho tiempo. Además, cuenta con riesgo latente de derrumbarse debido a un socavamiento que se encuentra en el área inferior.
ETAR	Sí tiene

Fuente. Nowell, 2015



Fuente. Nowell, 2015.

Figura 17. Eficiencia de planta de tratamiento San José.



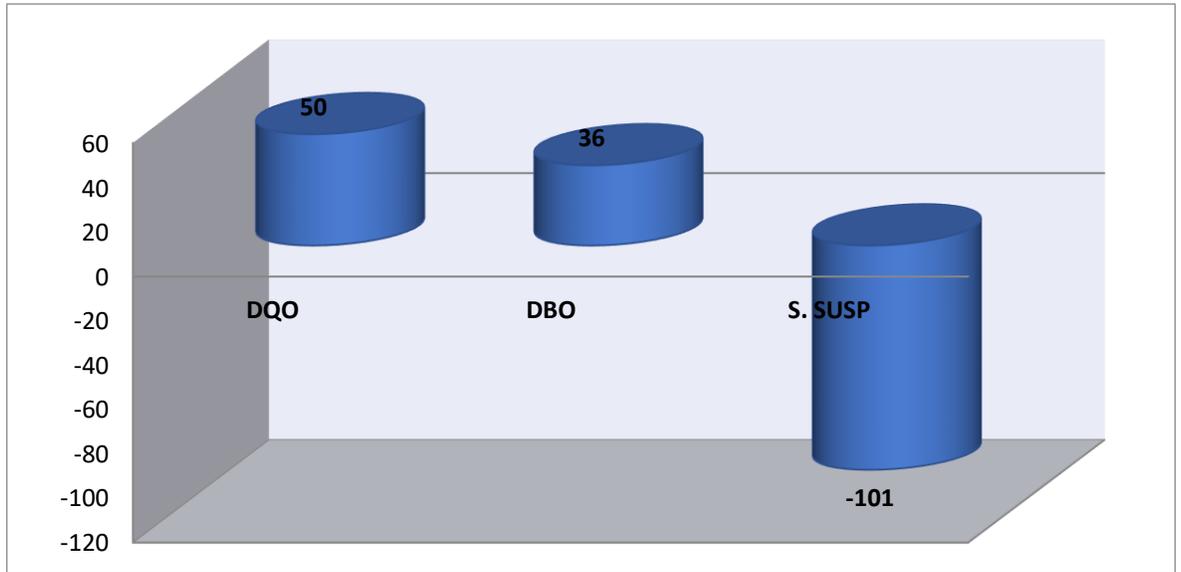
Fuente. Nowell, 2015.

Figura 18. Vista panorámica planta de Lomas San José.

Cuadro 15. Caracterización PTAR, Caserío Chipablo.

Ubicación	Caserío Chipablo, San Lucas, Sacatepéquez.
Coordenadas Geográficas	14°36'51.20"N y 90°38'32.70"O
Estado actual	En operación
Tipo sistema de tratamiento	Anaeróbico
Fecha de inicio de operación	Enero 2015
Distancia del centro de la población	3.20 Km.
Detalle de los componentes de la PTAR.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Rejillas y desarenador</li> <li>2) Sedimentador primario</li> <li>3) Filtro anaeróbico de flujo ascendente</li> <li>4) Clarificador de placas tipo Lamella</li> <li>5) Dosificador de cloro</li> <li>6) Tanque de contacto</li> </ol>
Instrumento de evaluación ambiental aprobado	Si tiene instrumento de evaluación ambiental aprobado.
Lugar de descarga	Quebrada el Tanque
Frecuencia de control y monitoreo	Sin información, no se tiene hoja de rutina de control del sistema de tratamiento con base a los elementos que componen el sistema de tratamiento.
ETAR	Si tiene

Fuente. Nowell, 2015.



Fuente. Nowell, 2017

Figura 19. Eficiencia planta de tratamiento de Chipablo.



Fuente. Nowell, 2017.

Figura 20. Vista panorámica PTAR de Chipablo

### **3.2.4. EVALUACIÓN**

Se imprimió la “Caracterización de las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de San Lucas Sacatepéquez” y se entregó a la dirección de la unidad de planificación municipal, donde se discutió y se evaluó la propuesta para el plan de manejo de aguas residuales, cumpliéndose este servicio en un 100 %.

**3.3. SERVICIO 2. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y CONFORMACIÓN DE DOCUMENTACIÓN PARA INGRESO AL MARN DE LOS PROYECTOS: A) MEJORAMIENTO CALLE FINAL LA PONDEROSA 2 (ADOQUINAMIENTO), SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, B) CONSTRUCCIÓN ESCUELA OFICIAL URBANA MIXTA REPUBLICA FEDERAL DE CENTRO AMERICA ZONA 1, SAN LUCAS SACATEQUEZ (CUARTO MÓDULO DE AULAS), C) CONSTRUCCIÓN EDIFICIO SEDE ASOCIACIÓN DE VECINOS RESIDENCIALES VILLAS DE LA MESETA, ZONA 3, SAN LUCAS SACATEPEQUEZ.**

### **3.3.1. OBJETIVOS**

Elaborar los estudios de impacto ambiental para 4 proyectos municipales y la conformación de la documentación técnica y legal para el ingreso del expediente a la ventanilla única del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN.

### **3.3.2. METODOLOGÍA**

- Se identificó el instrumento de evaluación ambiental que debe aplicarse para el proyecto según el listado taxativo de obras y proyectos del MARN.
- Se ejecutaron visitas de campo para realizar inspecciones técnicas que ayudarán en la elaboración de los instrumentos de evaluación. Levantamiento de datos generales, información legal, información general de ubicación, actividades colindantes al proyecto, dirección del viento, datos laborales, proyección de consumo y uso de agua, combustibles, lubricantes, refrigerantes y otros, transporte, impactos ambientales que pueden ser generados por el proyecto a los diferentes elementos del ambiente, demanda y consumo de energía, efectos y riesgos derivados de la actividad, etc.

- Elaboración de instrumentos de evaluación ambiental con base a la información obtenida en campo.
- Recopilación de documentación legal: RTU, patente de comercio, registro mercantil, carta de nombramiento de representante legal, declaración jurada, etc.
- Realización de auténticas de la documentación legal.
- Elaboración, impresión, timbrado y firmado de planos.
- Conformación y foliación de documento técnico legal para el MARN.

### 3.3.3. RESULTADOS

Se conformaron los documentos requeridos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN.

The image shows a form titled 'EVALUACION AMBIENTAL INICIAL' from the 'Gobierno de Guatemala' and 'Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales'. The form is for a project named 'MEJORAMIENTO CALLE FINAL LA PONDEROSA, ZONA 2, SAN LUCAS SACATEPEQUEZ, (ADOQUINAMIENTO)'. It includes sections for 'INSTRUCCIONES', 'INFORMACION LEGAL', and 'INFORMACION DEL PROYECTO'. The 'INFORMACION LEGAL' section contains details about the project's location and the proponent, YENER MARCELO PLAZA NATARVID.

Instrucciones	Para uso interno del MARN
<p>Se debe proporcionar toda la información solicitada en los apartados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Completar el siguiente formato de Evaluación Ambiental Inicial (EAI), colocando una X en las casillas donde correspondo y <u>debe</u> amillar con información escrita en cada uno de los espacios del documento, en donde se requiere.</li> <li>• Si necesita más espacio para completar la información, puede utilizar hojas adicionales e indicar el inicio o sub-inicio a que corresponde la información.</li> <li>• La información <u>debe</u> ser completada, utilizando letra de molde legible o si requiere de escribir.</li> <li>• Este formato también puede completarse de forma digital, si MARN puede proporcionar copia electrónica si se le facilita el CD, USB.</li> <li>• Todos los espacios deben ser completados, incluso el de aquellas interrogantes en que no sean aplicables a su actividad (indicar las razones por las cuales no se aplicable).</li> </ul>	<p>No. Expediente:</p> <p>Clasificación del Listado Taxativo</p> <p>Firme y Sello de Recibido MARN</p>
<p><b>I. INFORMACION LEGAL</b></p> <p>I.1. Nombre del proyecto obra, industria o actividad:  <b>MEJORAMIENTO CALLE FINAL LA PONDEROSA, ZONA 2, SAN LUCAS SACATEPEQUEZ, (ADOQUINAMIENTO).</b></p> <p>I.1.1 Descripción del proyecto, obra o actividad para lo que se solicita aprobación de este instrumento. (Especificar las actividades propias del proyecto, para la etapa de construcción y operación; si el proyecto conlleva una demolición o una actividad previa, detallar dicha actividad, cuando aplica indicar el volumen de material removido. De ser necesario puede adjuntar más hojas para la descripción)  <b>Mejoramiento y <del>adoquinamiento</del> calle final La Ponderosa.</b></p>	
<p><b>II. Información legal.</b></p> <p>A) Nombre del Proponente  <b>YENER MARCELO PLAZA NATARVID</b></p> <p>B) Nombre del Representante Legal</p> <p>Calle del Acta notarial de Nombramiento o del mandato:</p> <p>No. De Sección Constitutiva: _____</p> <p>Fecha de constitución:</p> <p>Patente de Sociedad Registro No. _____ Folio No. _____ Libro No. _____</p> <p>Patente de Comercio Registro No. _____ Folio No. _____ Libro No. _____</p> <p>No. De Finca _____ Folio No. _____ Libro No. _____</p> <p>de _____ donde se ubica el proyecto, obra, industria o actividad.</p> <p>Número de Identificación Tributaria (NIT) del proponente: 020100-0</p>	
<p>La-Telefono: 7573-1333, Teléfono Alternativo: _____, Fax: 7573-1334 Correo electrónico: dmp@municipios.gob.gt</p> <p>I.4 Dirección de donde se ubica el proyecto. (Identificando calles, avenidas, número de casa, zona, edas, cantón, barrio o similar, así como otras delimitaciones territoriales, indicar el municipio y departamento):  <b>Calle Final, La Ponderosa, zona 2, San Lucas Sacatepéquez, Departamento de Sacatepéquez</b></p> <p>Especificar: Coordenadas UTM o Geográficas</p>	

Fuente. Elaboración propia, 2015

Figura 21. Carátula del EIA del proyecto: Mejoramiento calle final La Ponderosa, zona 2, San Lucas Sacatepéquez (adoquinamiento).

El proyecto se desarrolló en la calle llamada “Calle Final la Ponderosa” y consistió en el adoquinamiento de un tramo de 300 metros. Se realizó la visita de campo para determinar el nivel de impacto ambiental, con base a la información obtenida se elaboró el EIA correspondiente y la papelería legal a adjuntar para la conformación del documento. (Figura 21)

 <b>DIAGNOSTICO AMBIENTAL DE BAJO IMPACTO</b> (Formato propiedad del MARN)	
<b>Instrucciones</b> Se debe proporcionar toda la información solicitada en los apartados. • Completar el siguiente formato de Diagnóstico Ambiental de Bajo Impacto (DABI), colocando una X en los casillas donde corresponde y <u>debe</u> ampliar con información escrita en cada uno de los espacios del documento, en donde se requiere. • Si necesita más espacio para completar la información, puede utilizar hojas adicionales e indicar el inicio o sub-inicio a que corresponde la información. • La información <u>debe</u> ser completada, utilizando letra de molde legible o en formato texto digital. • Este formato también puede completarse de forma digital, el MARN puede proporcionar copias electrónicas si se le facilita el CD, USB. • Todos los espacios deben ser completados, incluso el de aquellas interrogantes en que no sean aplicables a su actividad (). •	<b>Para uso interno del MARN</b> No Expediente:  Clasificación del Listado Taxativo   Firma y Sello de Recibido MARN
<b>I. INFORMACIÓN LEGAL</b>	
<b>I.1. Nombre del proyecto obra, industria o actividad: CONSTRUCCIÓN ESCUELA PRIMARIA OFICIAL URBANA MIXTA REPUBLICA FEDERAL DE CENTRO AMERICA, ZONA 1, SAN LUCAS SACATEPEQUEZ, (CUARTO MODULO DE AULA 8)</b>	
<b>I.1.1 Descripción detallada del proyecto, obra, industria o actividad</b> El proyecto consiste en la construcción del cuarto módulo de aulas de la escuela primaria oficial urbana mixta república federal de Centro América. Para satisfacer las necesidades de los alumnos del Casco Urbano, y de los profesores que hacen uso de dichas instalaciones, se tiene un área de <u>construcción de 556.00 metros cuadrados.</u>	
<b>I.2. Información legal:</b>	
<b>A) Nombre del Proponente</b> Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez	
<b>A) Nombre del Proponente</b> _____ Municipalidad de San Lucas Sacatepéquez: _____	
Nombre del Representante Legal: <u>Edgar Heroldo Plaza Velazquez</u> Cales del Acto notarial de Nominamiento o del mandato: Libro No. 28 del acta de sesiones Ordinarias del Consejo Municipal de San Lucas Sacatepéquez en donde aparece el acta no. 7-2012 de fecha 15 de enero de 2012	
No. De Escritura Constitutiva: <u>acuerdo 5-2007 de la junta electoral departamental de Sacatepéquez</u>	
Fecha de constitución: <u>_____</u>	
Patente de Sociedad    Registro No. _____    Folio No. _____    Libro No. _____	
Patente de Comercio    Registro No. _____    Folio No. _____    Libro No. _____	
No. De Finca _____    Folio No. _____    Libro No. _____ de _____ donde se ubica el proyecto, obra, industria o actividad.	
Número de Identificación Tributaria (NIT) del proponente: <u>038155-05</u>	
<b>I.3</b> Teléfono: 7873-1323_ext. 114 _____ Teléfono Alternativo: _____ Fax: 7873-1324 Correo electrónico: <u>dmp@municipiosanlucas.gob.gt</u>	
<b>I.4 Dirección de donde se ubicará el proyecto:</b> identificando calles, avenidas, número de casa, zona, aldea, cantón, barrio o similar, así como otras delimitaciones territoriales; indicar <u>al municipio y departamento</u> : <u>MM. 28.6 CARRETERA</u>	

Fuente. Elaboración propia, 2015

Figura 22. Carátula de EIA del proyecto: construcción escuela primaria oficial urbana mixta República Federal de Centro América, zona 1, San Lucas Sacatepéquez (Cuarto módulo de aulas).

Este proyecto consistió en la ampliación de la escuela oficial urbana mixta República Federal de Centro América, ubicado en la zona 1 del casco urbano, frente al estadio municipal. Se construyeron 6 aulas más que constituyeron el cuarto módulo de la escuela. Se elaboró el estudio de impacto ambiental y se conformó el documento para ingresar al MARN.



### 3.3.4. EVALUACIÓN

Al finalizar la conformación de los documentos a ingresar al MARN para cada uno de los proyectos, fue revisado por la directora de la unidad de planificación, posterior a su aprobación, se ingresó a ventanilla única del MARN. Mediante estos estudios de impacto ambiental se sentaron las bases referentes a la ejecución de los diferentes proyectos. Este servicio se ejecutó en un 100%.

### 3.3.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Nowell Fernández, G. 2015. Diagnóstico situación actual de la municipalidad de San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez, Guatemala, Municipalidad de San Lucas.



Rolando Barrera