



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

**EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME) APLICADOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN CRISTÓBAL (COLONIA PANORAMA),
MIXCO, GUATEMALA**

Ing. Jorge Mauricio Pontaza Pivaral

Asesorado por M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

Guatemala, mayo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME) APLICADOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN CRISTÓBAL (COLONIA PANORAMA),
MIXCO, GUATEMALA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)
POR EL INGENIERO CIVIL

JORGE MAURICIO PONTAZA PIVARAL

ASESORADO POR M.Sc. ING. ADÁN POCASANGRE COLLAZOS

COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

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

GUATEMALA, MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

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

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

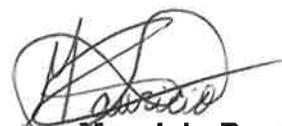
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Matias Gil Larroj

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS EFECTIVOS (ME) APLICADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN CRISTÓBAL (COLONIA PANORAMA), MIXCO, GUATEMALA

Tema que me fuera autorizado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con fecha 28 de julio del 2011.



Ing. Jorge Mauricio Pontaza Pivaral

geogepontaza@hotmail.com

No. de carné: 100020254

Guatemala 06 de mayo de 2014

Señores
Comisión de Admisión y Otorgamiento de grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS

Edificio de ERIS
Área de prefabricados Facultad de
Ingeniería
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

www.ingenieria-usac.edu.gt

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi
calidad de Asesor y Coordinador de la Maestría en Ciencias
en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial
titulado:

**Eficiencia de Microorganismos Efectivos (ME) aplicados en la
planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal
(colonia Panorama), Mixco, Guatemala.**

Presentado por el estudiante de la maestría antes
mencionada,

Ingeniero Civil Jorge Mauricio Pontaza Pivaral

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma
satisfactoria con los requisitos establecidos por la Escuela
Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
-ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la
realización de su estudio.

Agradeciendo la atención a la presente, se suscribe de
ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS

Edificio de ERIS
Área de prefabricados Facultad de
Ingeniería
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext. 86213 y 86212
(502) 2418 9138

www.ingenieria-usac.edu.gt

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, Msc. Ing. Zenón Much Santos y Msc. Ing. Joram Gil Laroj, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión de lingüística efectuada por la Licenciada en Letras Rosa Amelia González Domínguez colegiada No. 5284, del trabajo del estudiante Ing. Jorge Mauricio Pontaza Pivaral, titulado:

Eficiencia de Microorganismos Efectivos (ME) aplicados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala.

En representación de la comisión de admisión y otorgamiento de grado, procede a la autorización del mismo.

Guatemala, 12 de mayo de 2014

IMPRÍMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Msc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos

Guatemala, 5 de mayo de 2014

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

Estimado Ing. Saravia:

Por este medio extiendo constancia a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria: **Eficiencia de microorganismos efectivos (ME) aplicados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala** del estudiante ingeniero **Jorge Mauricio Pontaza Pivaral (carné: 100020254)**.

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,



(f) y sello

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Rosa Amelia González Domínguez".

Rosa Amelia González Domínguez
LICENCIADA EN LETRAS
Colegiada No. 5284

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

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y por estar siempre junto a mí, porque Él me ha cuidado y guiado toda la vida.
Mi familia	Por el apoyo y cariño que me brindaron; que Dios los bendiga.
Dr. Ing. Adán Pocasangre	Por compartir conmigo sus conocimientos sin ningún interés; por el apoyo brindado cada vez que lo necesité y por ser un gran amigo.
AMSA	En especial al Ing. De León, por haberme permitido realizar mi estudio especial en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.
Universidad de San Carlos de Guatemala	En especial a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, por haberme formado como profesional; y a todos sus catedráticos por hacer de mí un profesional competente.
Personal del Laboratorio	En especial al M.Sc. Ing. Zenon Much, por sus consejos y su apoyo incondicional. Siempre seguiré corriendo y no dormiré.

Ana Gabriela Pinto
Zelada

Por ser la única persona en la que he confiado y apoyarme en todo momento. Eres el amor de mi vida, gracias por las cosquillitas en el estómago.

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Gracias por darme la vida y la fortaleza para seguir adelante.
- Mis padres** Gloria Asunción Pivaral de Pontaza, por apoyarme y darme los mejores consejos de la vida; gracias por ser la mejor de las madres. Rodolfo Mauricio Pontaza Calderón, por el apoyo, por creer en mí y por ser un ejemplo a seguir. A los dos les dedico este momento, porque el amor que me han dado es mi fuerza y mi alegría, les debo todo. Gracias por su amor y sacrificio que hicieron para llegar a obtener este triunfo, y que este trabajo sea un reconocimiento a sus esfuerzos.
- Mis hermanos** Fernando y Gustavo Pontaza, por ser mis amigos y por haber estado juntos en tantos momentos difíciles que unidos logramos superar.
- Mis abuelos** Por ser como mis padres y por estar siempre en mi corazón y en mis pensamientos.
- Mis tíos y primos** Por sus consejos y apoyo incondicional que me han brindado.

Mi familia

Con los que comparto este triunfo y orgullo, gracias por apoyarme y por hacerme sentir que somos una gran familia, motivo para seguir adelante.

Mis amigos

Por haberme acompañado y exhortado a salir adelante en mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
LIMITANTES.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
ANTECEDENTES.....	XXI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXIII
JUSTIFICACIÓN.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales....	1
1.1.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales - inicial -	2
1.1.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales - actual -.....	2
1.2. Microorganismos efectivos (ME)	3
1.2.1. Dosis.....	5
1.2.2. Microorganismos Efectivos Activados (ME-A)	5
1.2.2.1. Proceso de activación.....	6
1.2.3. Efectos de la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) en una planta de tratamiento de aguas residuales.....	7

1.3.	Análisis de la calidad del agua	8
2.	UNIVERSO DE TRABAJO	9
2.1.	Características geográficas.....	9
2.1.1.	Localización y extensión territorial.....	9
2.1.2.	Ubicación geográfica y colindancias	10
2.1.3.	Accesos y comunicaciones	12
2.1.4.	Aspectos climatológicos e hidrográficos.....	12
3.	METODOLOGÍA	13
3.1.	Puntos de muestreo	13
3.1.1.	Número y tipo de muestras	15
3.1.2.	Análisis estadístico para determinar el número de muestras.....	15
3.2.	Aplicación de los Microorganismos Efectivos (ME).....	17
4.	RESULTADOS.....	19
4.1.	Análisis calidad del agua residual sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).....	19
4.1.1.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)	21
4.2.	Análisis calidad del agua residual aplicando Microorganismos Efectivos (ME).....	22
4.2.1.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	23

5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	27
5.1.	Parámetros evaluados.....	28
5.1.1.	Eficiencia en remoción de sólidos sedimentables... 28	
5.1.2.	Eficiencia en remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	30
5.1.3.	Eficiencia en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	32
5.1.4.	Eficiencia en remoción de nitrógeno total	34
5.1.5.	Eficiencia en remoción de fósforo total	37
5.1.6.	Eficiencia en remoción de sólidos suspendidos.....	39
5.1.7.	Eficiencia en remoción de turbiedad.....	41
5.1.8.	Eficiencia en remoción de color	43
5.1.9.	Comportamiento del PH	45
5.1.10.	Comportamiento de la temperatura	47
5.2.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de materia orgánica al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	49
5.3.	Comparación de resultados con normas	51
5.4.	Evaluación - costo - de los Microorganismos Efectivos (ME) ..	52
5.4.1.	Eficiencia <i>versus</i> costo sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales.....	54
5.4.2.	Eficiencia <i>versus</i> costo aplicando Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales.....	56
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63
	APÉNDICES	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de sistema de tratamiento de aguas residuales - inicial -.....	2
2.	Esquema de sistema de tratamiento de aguas residuales - actual -	3
3.	Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales	10
4.	Centroamérica - Guatemala	11
5.	Guatemala.....	11
6.	Municipio de Mixco.....	11
7.	Localizacion de la planta de tratamiento San Cristóbal.....	11
8.	Punto 1: entrada a la planta (agua cruda)	14
9.	Punto 2: Salida de la planta	14
10.	Curvas de niveles de confianza	16
11.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos sedimentables antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	30
12.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	32
13.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	34
14.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de nitrógeno total antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	36

15.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de fósforo total antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	38
16.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos suspendidos antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	40
17.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro turbiedad antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	42
18.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro color antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	45
19.	Comportamiento del parámetro PH antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	47
20.	Comportamiento del parámetro temperatura antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	49
21.	Esquema de eficiencia <i>versus</i> costo sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).....	56
22.	Esquema de eficiencia <i>versus</i> costo aplicando Microorganismos Efectivos (ME).....	57
23.	Eficiencia <i>versus</i> costo	58

TABLAS

I.	Análisis de calidad de agua residual sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).....	20
II.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).....	22

III.	Eficiencia de la planta de tratamiento aplicando Microorganismos Efectivos (ME).....	25
IV.	Comparación de eficiencias en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala, al aplicar Microorganismos Efectivos (ME)	27
V.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos sedimentables antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	29
VI.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	31
VII.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	33
VIII.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de nitrógeno total antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	35
IX.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de fósforo total antes y después de aplicar los ME	37
X.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos suspendidos antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	39
XI.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro turbiedad antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	41
XII.	Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro color antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).....	44

XIII.	Comportamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro PH antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	46
XIV.	Comportamiento de la temperatura antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	48
XV.	Eficiencia de la planta de tratamiento en remoción de materia orgánica al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)	50
XVI.	Comparación de resultados con la normativa	51
XVII.	Costo Microorganismos Efectivos Activados (ME-A)	52
XVIII.	Costo ME-A al aplicarlos en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama)	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°C	Grados Celsius
Lts	Litros
L/hab/día	Litros por habitante por día
lts/seg	Litros por segundo
m²	Metros cuadrados (área)
m³/seg	Metros cúbicos por segundo (caudal)
m/seg	Metros por segundo (velocidad)
ME	Microorganismos Efectivos
ME-A	Microorganismos Efectivos Activados
mm	Milímetro
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual
seg	Segundo

GLOSARIO

Afluente	Agua residual u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento.
Aguas negras	Se llama así a las aguas de desechos provenientes de usos domésticos, comerciales e industriales.
Alcantarillado sanitario	Sistema que se utiliza para conducir únicamente aguas negras o servidas.
Altimetría	Procedimiento utilizado para definir las diferencias de nivel existentes entre puntos distintos de terreno o construcción.
Caudal	Cantidad de agua que brota de un manantial o cantidad de aguas negras producto del uso humano, por unidad de tiempo.
Caudal de aguas negras	Cantidad de aguas negras producto del uso humano, por unidad de tiempo.
Colector	Tubería, generalmente de servicio público, que recibe y conduce las aguas indeseables de la población al lugar de descarga.

Concreto	Es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, arena, pedrín y agua.
Conexión domiciliar	Tubería que conduce las aguas negras desde el interior de la vivienda hasta el alcantarillado sanitario.
Descarga	Lugar donde se vierten las aguas negras provenientes de un colector, las cuales pueden estar crudas o tratadas.
Desfogue	Lugar donde se vierten las aguas tratadas provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales.
Efluente	Líquido que sale de un proceso de tratamiento.
Pozo de visita	Una estructura que forma parte de un alcantarillado y tiene por objeto dar inspección, limpieza y ventilación al sistema.
Tiempo de retención	Tiempo durante el cual una unidad de tratamiento retiene el líquido a una velocidad determinada de diseño.

RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) Mixco, Guatemala, está siendo operada por la Autoridad para el Manejo Sustentable del Lago de Amatitlán (AMSA) desde el 2009. Esta opera con las siguientes unidades de tratamiento: canal de rejillas, desarenador, laguna facultativa, sedimentador secundario y una serie de canales humedales.

De las unidades de tratamiento descritas anteriormente, la laguna facultativa provoca emanación de malos olores y una baja calidad de agua residual en su desfogue; generando polémica en la zona, ya que se cuestiona el funcionamiento de dicha planta. Asimismo, los vecinos han presentado quejas debido al disgusto causado por el mal olor que esta produce; y para evitar la problemática al 100 % se requiere de aireación; sin embargo, AMSA, no cuenta con el capital para la inversión inicial, ni para sostener la operación y mantenimiento de dichos equipos; por ello a decidido implementar la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) y realizar un estudio sobre ello, teniendo como base el mejoramiento de parámetros fisicoquímicos en esta planta de tratamiento.

AMSA adquirió los Microorganismos Efectivos (ME), los cuales están conformados por levaduras, bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus*) y bacterias fotosintéticas, las cuales promueven un proceso de fermentación antioxidante benéfico; aceleran la descomposición de la materia orgánica y promueven el equilibrio de la flora microbiana.

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) evaluó la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala, con base en parámetros fisicoquímicos para poder determinar la eficiencia de los microorganismos al aplicarlos al agua residual; para esto, se tomaron muestras compuestas en la entrada y salida de la planta; y así llevar a cabo el análisis respectivo en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

La planta de tratamiento estaba operando en condiciones normales, previo a la aplicación de los Microorganismos Efectivos (ME); los cuales se activaron y se fermentaron durante 15 días en el área de la planta, utilizando tanques de polietileno.

Estos fueron aplicados a las aguas residuales y la planta fue evaluada durante cuatro meses, obteniendo un aumento al porcentaje de eficiencia en remoción de materia orgánica del 19 % aproximadamente. También se obtuvo la reducción de olores ofensivos.

El presente estudio es el resultado del análisis de la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama). Se presenta la metodología utilizada, un informe amplio sobre las características del área de estudio, el sistema de tratamiento, toma de muestras, parámetros fisicoquímicos y la descripción de los microorganismos efectivos.

Dicha información permite conocer los procesos de estudio, obtención de materia prima para el mismo e infraestructura en materia de laboratorio para poder realizarlo.

OBJETIVOS

General

Mejorar la eficiencia en remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala, con la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME).

Específicos

1. Evaluar y analizar la eficiencia de la planta de tratamiento previo y posterior a la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) con base en parámetros fisicoquímicos; que permitirán realizar una investigación de la eficiencia de los mismos, al aplicarlos al agua residual.
2. Evaluar costo de los Microorganismos Efectivos (ME) al utilizarlos en una planta de tratamiento de aguas residuales.
3. Comparar los análisis fisicoquímicos con las normas establecidas para desfogue a cuerpos receptores.

LIMITANTES

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal originalmente se diseñó como una zanja de oxidación; este tipo de unidades operan a base de oxígeno al inyectarlo en la misma, llegando este equipo al límite de vida útil, se crea la necesidad de cambiar el diseño a una laguna facultativa, estas necesitan tiempos de retenciones mayores al diseño original, por lo que existe un caudal excedente.

Actualmente la laguna facultativa tiene la capacidad de contener 2 086,90 metros cúbicos e ingresa “un caudal medio de 20 litros/segundo”¹, datos que permiten calcular que la unidad tiene un tiempo de retención de 29 horas aproximadamente. Con dicho volumen y con un tiempo de retención apropiado para este tipo de unidades (“5,0 días”)², esta podría tratar un caudal de 4,83 litros/segundo, esto significa que se tiene un caudal excedente de un 75,85 %

Con el caudal medio que actualmente ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales y utilizando la misma altura (1,70 metros) de la laguna facultativa construida se necesitará un área de 3 854,76 metros cuadrados extras para poder tratar adecuadamente las aguas residuales que ingresan a dicha planta; ilustrativamente es necesario construir paralela a esta laguna otras 4 del mismo tamaño, desafortunadamente no se cuenta con el espacio necesario ni con los recursos económicos para poder llevar a cabo esta ampliación.

1. AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

2. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. Tabla 10-20, p. 733.

HIPÓTESIS

La implementación de Microorganismos Efectivos (ME) en las aguas residuales domésticas que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales mejorarían la eficiencia de la misma, obteniendo hasta un 85 % en remoción de materia orgánica y un efluente que cumple con el *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos* (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006).

ANTECEDENTES

La función de la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal radica en el tratamiento de una fracción del área de Mixco previo a su ingreso al río El Arenal del Campanero.

AMSA ha rehabilitado la planta de tratamiento y desde el 2009 es la autoridad encargada del mantenimiento, para que dicha planta opere en óptimas condiciones.

“En la actualidad, se han dado actividades de mantenimiento, la planta es utilizada para mejorar las características fisicoquímicas y para la remoción de nutrientes, cuenta con un canal de rejas, un desarenador, dos lagunas facultativas, un sedimentador secundario y seis módulos de humedales”.³

AMSA desea realizar un estudio aplicando los Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal, con el objeto de incrementar su capacidad de tratamiento.

Se han realizado aplicaciones de Microorganismos Efectivos (ME) en diferentes tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Algunos estudios realizados en diferentes países se listan a continuación:

3. AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

- “Okinawa, Japón, fue desarrollada en la década de los 70 por el profesor Teruo Higa de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus, después de muchos años de investigación y estudio que se completaron en 1982 fue utilizada, primero como una alternativa al uso de químicos agrícolas.
- España: en el 2002 se incorporó la tecnología ME utilizándola en Barcelona, Madrid, Córdoba, Asturias y Vigo; esta se usó en diferentes ramas como la producción agropecuaria, manejo de desechos orgánicos y manejo de aguas servidas.
- Interagua, Guayaquil, Ecuador: el 30 de septiembre del 2012 en la planta de tratamiento de aguas de la empresa Interagua. Obteniendo hasta un 80 % en la remoción de la DBO.
- Barbados: el 26 de octubre del 2012 en varias localidades de Barbados se han utilizado los ME para mantener los recursos naturales ya que son grandes atractivos turísticos obteniendo grandes resultados.
- Malasia: en el 2013 incorpora el ME para tratamiento de aguas residuales obteniendo los resultados esperados (85 %).⁴
- En la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS), de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala y en el país no existe estudio alguno de la aplicación de los Microorganismos Efectivos (ME) específicamente en aguas residuales, AMSA los ha comenzado a utilizar mas no existe un estudio realizado.

4. HIGA, Teruo. *Microorganismos Efectivos*. <http://em-la.com>. Consulta: septiembre de 2013.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal opera con una laguna facultativa; este tratamiento no funciona para dicha planta, debido a que el tiempo de retención de la laguna facultativa es de 29 horas aproximadamente, y este tipo de unidades necesita más tiempo de retención. Inicialmente esta fue diseñada como una zanja de oxidación; que operaba adecuadamente por medio de equipo electromecánico, el cual se deterioró debido a falta de mantenimiento.

Dicho abandono provocó la necesidad de convertir la zanja de oxidación en una laguna facultativa, representando un problema ya que era necesario aumentar su capacidad de tratamiento con otras cuatro lagunas de la misma dimensión. Debido a que no se cuenta con el espacio físico ni el financiamiento necesario para hacerlo posible nace dicha laguna facultativa.

La laguna facultativa presenta un caudal excedente por la carencia de tiempo de retención, provocando así, la emanación de malos olores y una baja calidad de agua residual en su desfogue. Esto ha generado polémica en la zona, cuestionando el funcionamiento de dicha planta, asimismo, los vecinos han presentado quejas debido al disgusto causado por el mal olor que esta produce.

AMSA que es la encargada de la operación y mantenimiento de algunas plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran sobre la cuenca del lago de Amatitlán; han utilizado los Microorganismos Efectivos (ME) para mejorar la eficiencia de dichas plantas, sin ningún estudio que los respalde.

Debido a esto surge la propuesta de implementar dichos microorganismos en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal para confirmar su eficiencia.

JUSTIFICACIÓN

La contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa.

Por esta razón se pretende comprobar la eficiencia aplicando Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal y así poder mejorar el proceso actual.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico, social y cultural de las comunidades se ve afectado por la falta de uno de los derechos primordiales del ser humano, la salud. Esta es quebrantada por enfermedades de diferente índole, entre las que se pueden mencionar están: las gastrointestinales y las infectocontagiosas. Dichas enfermedades son provocadas por la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, debido a la mala calidad de estas, causan problemas serios y en algunos casos hasta la muerte. Al tener el control del medio por el cual ocurre el contagio de estas enfermedades, a través de una planta de tratamiento de aguas residuales, se mejora la salud de los habitantes, y por ende se promueve el desarrollo de la comunidad.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales han sido objeto de diversos estudios de manera separada, con la finalidad de conocer los diversos comportamientos y concentraciones de contaminantes y los sistemas de depuración que se llevan a cabo. En la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala; la actividad depuradora es intensa y variada puesto que su función radica en el tratamiento de la colonia (“aproximadamente 30 000 habitantes”)⁵ y que posteriormente descarga en los ríos El Arenal del Campanero y en seguida al Villalobos, lo que ha contribuido a disminuir la contaminación del río y por consiguiente al lago de Amatitlán.

5. AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

La Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA) ha realizado varios estudios, con el fin de determinar las condiciones óptimas de depuración de las aguas residuales de esta planta y de preservar la belleza del lago de Amatitlán.

En la presente investigación se analiza la calidad del agua con base en parámetros fisicoquímicos que den a conocer la eficiencia de los Microorganismos Efectivos (ME), aplicándolos en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal, Mixco, Guatemala.

1. MARCO TEÓRICO

“Las aguas residuales las podemos definir como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales”.⁶

1.1. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales.

“La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala; desde que fue construida ha tenido dos sistemas de tratamiento: el primero originó una zanja de oxidación seguida de un clarificador y el tratamiento actual consiste en un canal de rejas, desarenador, laguna facultativa, sedimentador secundario y una serie de canales humedales.

Las aguas residuales provenientes de la colonia Panorama ingresan a la planta de tratamiento que posteriormente descargan en el río El Arenal del Campanero y en seguida al río Villalobos, el cual desemboca en el lago de Amatitlán.”⁷

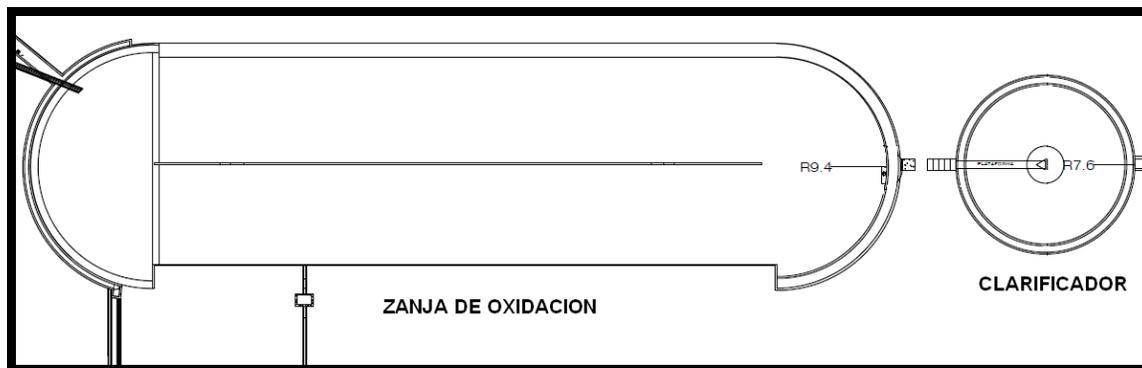
6. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 1.

7. AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

1.1.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales - inicial -

La planta de tratamiento de aguas residuales originalmente fue diseñada con una zanja de oxidación, la cual utilizaba un equipo electromecánico que dispersaba oxígeno en esta, y un clarificador que utilizaba un equipo de bombeo para que los lodos tuvieran una recirculación hacia dicha zanja.

Figura 1. Esquema de sistema de tratamiento de aguas residuales - inicial -



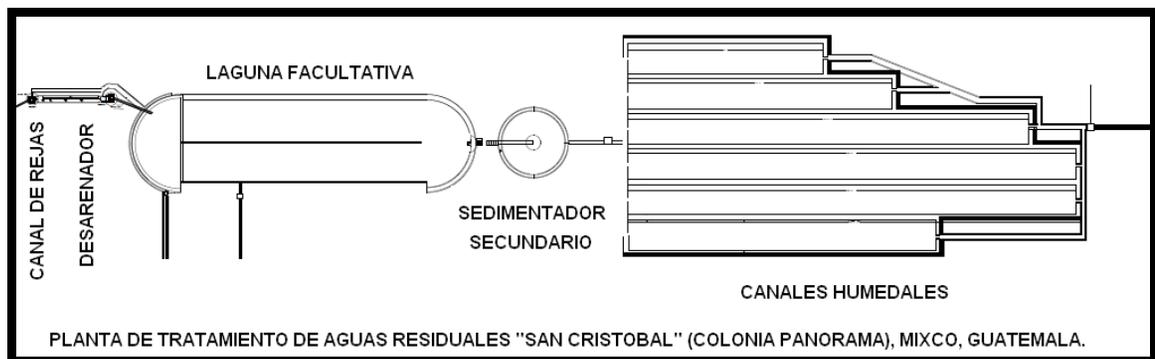
Fuente: AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

1.1.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales - actual -

“La planta de tratamiento de aguas residuales quedó abandonada por falta de mantenimiento, el equipo electromecánico se deterioró; esto provocó la necesidad de convertir la zanja de oxidación en una laguna facultativa y el clarificador en un sedimentador secundario. Previo a estas unidades se construyó un canal de rejillas y un desarenador para poder darle un pretratamiento a las aguas residuales y posterior a las mismas, se construyó una serie de seis canales humedales, que son esenciales para disminuir el porcentaje de nutrientes en la planta.

AMSA es la encargada de la operación y mantenimiento de algunas plantas de tratamiento de aguas residuales que se encuentran sobre la cuenca del lago; desde el 2009 opera esta planta, la cual funciona bajo el concepto de Fitodepuración, el cual es un sistema de tratamiento biológico secundario”.⁸

Figura 2. **Esquema de sistema de tratamiento de aguas residuales**
- actual -



Fuente: AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

1.2. **Microorganismos Efectivos (ME)**

“Los Microorganismos Eficientes (ME) fueron desarrollados en la década de los 70, por el profesor Teruo Higa de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón.

Teóricamente es una combinación de varios microorganismos normalmente encontrados en la comida o que se utilizan en procesos de producción de alimentos”.⁹

8. AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

9. HIGA, Teruo. *Microorganismos Efectivos*. <http://em-la.com>. Consulta: septiembre de 2013.

“Estos están conformados esencialmente por tres diferentes tipos de organismos: levaduras, bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus*) y bacterias fotosintéticas, que promueven un proceso de fermentación antioxidante benéfico, aceleran la descomposición de la materia orgánica y promueven el equilibrio de la flora microbiana.

Cuando la combinación efectiva de estos microorganismos entra en contacto con materia orgánica, se segregan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales y antioxidantes, las cuales desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos de la ingeniería, según sus promotores. Inicialmente este producto fue desarrollado para el mejoramiento de suelos y el tratamiento de residuos agropecuarios, sin embargo, en los últimos años se ha intentado extrapolar su aplicación al campo del tratamiento de aguas.

La materia orgánica produce olor cuando la descomponen microorganismos de tipo putrefactivo; al aplicar Microorganismos Efectivos (ME), empiezan a predominar los fermentativos, que eliminarán el olor, ya que segregan ácidos orgánicos, enzimas, antioxidantes y quelatos metálicos.

El amoníaco (el gran responsable del olor característico de los procesos de descomposición orgánica), es una sustancia alcalina débil, que es neutralizada por dichos ácidos; las enzimas y los antioxidantes, en acción sinérgica, tienen un efecto amortiguador que reduce el olor; los quelatos metálicos, reaccionan con sustancias olorosas de manera instantánea, convirtiéndolas en inodoras”.¹⁰

10. HIGA, Teruo. *Microorganismos Efectivos*. <http://em-la.com>. Consulta: septiembre de 2013.

“Mejora la calidad de agua residual y acrecienta el proceso de limpieza natural, ya que los antioxidantes secretados por los microorganismos del ME, mejoran el proceso de separación de sólidos y líquidos en la decantación, permitiendo hacer más fácil la limpieza del agua”.¹¹

1.2.1. Dosis

“Para sistemas con Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) abajo de 1 000 mg/L, se utiliza:

- Un (1) litro de Microorganismos Efectivos Activados (ME-A) para cada 1 000 litros del volumen total de las lagunas o tanques de tratamiento”.¹²

1.2.2. Microorganismos Efectivos Activados (ME-A)

“Los Microorganismos Efectivos (ME) deben de ser activados, se pueden producir varios preparados diferentes, dependiendo de la intención en su aplicación posterior. El preparado utilizado para el tratamiento de aguas residuales en este caso fue el ME-A, que significa Microorganismos Efectivos Activados.

Se usa la siguiente proporción: una (1) parte de Microorganismos Efectivos (5 %), una (1) parte de melaza (5 %) de caña o azúcar y dieciocho (18) partes de agua (90 %) limpia (sin cloro), así, un (1) litro de Microorganismos Efectivos (ME) rendirá veinte (20) litros de Microorganismos Efectivos Activados (ME-A) para aplicar a la planta de tratamiento de aguas residuales”.¹³

11. HIGA, Teruo. *Microorganismos Efectivos*. <http://em-la.com>. Consulta: septiembre de 2013.

12. *Ibíd.*

13. *Ibíd.*

“La mezcla se realizará manteniéndolo a una temperatura constante de unos treinta grados Celsius (30 °C) aproximadamente en un contenedor sellado durante una o dos semanas.

Entonces se ha de comprobar el PH del ME-A. Si el PH está por debajo de 3,5 y el olor es agrídulce entonces se sabrá que el proceso de fermentación de los Microorganismos Efectivos se ha realizado.

Para la activación se deberán utilizar recipientes plásticos limpios y con tapas que permitan el cierre hermético para evitar la entrada de aire.

El ME-A ha sido utilizado con éxito para aliviar malos olores en plantas de tratamiento de aguas fecales, donde ayuda además a reducir el volumen de lodos e incrementa la actividad de sedimentación al acelerar la descomposición orgánica del material”.¹⁴

1.2.2.1. Proceso de activación

“El proceso de activación de los Microorganismos Efectivos (ME) para poder ser utilizados en el tratamiento de aguas residuales es el siguiente:

- Llene el recipiente plástico con agua (90 %)
- Microorganismos efectivos (5 %)
- Melaza de caña o azúcar (5 %)
- Agitar (solución homogénea)
- Cerrar para evitar entrada de aire
- Temperatura de 25 a 40 grados Celsius

14. HIGA, Teruo. *Microorganismos Efectivos*. <http://em-la.com>. Consulta: septiembre de 2013.

- 7 a 15 días de fermentación
- Extracción de gas
- Activado y
- Utilizarse durante los 35 días siguientes”.¹⁵

1.2.3. Efectos de la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) en una planta de tratamiento de aguas residuales

- “Mejora la calidad de agua. El ME descompone la materia orgánica lo cual ayuda a reducir la actividad de protozoarios, por lo que la eficiencia del sistema mejora y la calidad de agua también mejora (sin embargo, si hubiera en el caudal más de 150 % de la capacidad de planta, no se puede aplicar esta teoría).
- Reutilización de lodo. Generalmente el lodo que sale de la planta de tratamiento de agua no tiene uso agrícola, pero el tratado con ME tiene mayor concentración de nutrientes y microorganismos, por lo que se puede utilizar como abono o sustrato para uso agrícola.
- Reducción del uso de químicos. La aplicación de ME puede lograr la reducción de productos químicos, por ejemplo, aumentará la concentración de lodo por lo que no es necesario usar solidificadora.
- Forma de operación más sostenible con ecosistema.
- Reducción de olores ofensivos”.¹⁶

15. HIGA, Teruo. *Microorganismos Efectivos*. <http://em-la.com>. Consulta: septiembre de 2013.

16. *Ibíd.*

1.3. Análisis de la calidad del agua

Las aguas residuales se determinan por su composición física y química, pero existen parámetros preestablecidos para fijar los principales componentes que ayudan a la caracterización de las aguas. Asimismo, “el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo Número 236-2006 de Guatemala sugiere la consideración de ciertos parámetros para la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales los cuales se mencionan a continuación:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos sedimentables
- Sólidos suspendidos
- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días a veinte grados celsius (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Turbiedad
- Color”¹⁷

17. *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006)*. www.marn.gob.gt/documentos/guias/documentos/reglamento.pdf. Consulta: septiembre de 2013.

2. UNIVERSO DE TRABAJO

“AMSA fue creada con el Decreto No. 64-96 del Congreso de la República de Guatemala, el 18 de septiembre de 1996 con el propósito de resguardar y recuperar el lago de Amatitlán, mediante la descontaminación y el uso racional de los recursos renovables y no renovables de las zonas de recarga de acuíferos y zonas boscosas. AMSA está conformada por: la División Ejecutiva, Administrativa, División de Manejo de Desechos Sólidos, División de Manejo de Desechos Líquidos, División Forestal, Ordenamiento Territorial, Rescate del Lago, Limpieza del Lago, Control Ambiental y Educación Ambiental. Dentro de los proyectos de AMSA está la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal”.¹⁸

2.1. Características geográficas

La planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra en el área geográfica del municipio de Mixco, “este cuenta con más de 100 000 habitantes, integrado por 11 zonas. Cuenta con reservas boscosas, con un área total de 132 kilómetros cuadrados y temperatura media 27 °C”.¹⁹

2.1.1. Localización y extensión territorial

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal se localiza en el municipio de Mixco que pertenece al departamento de Guatemala y se

18. www.amsa.gob.gt. Consulta: septiembre de 2013.

19. <http://es.m.wikipedia.org/wiki/Mixco>. Consulta: 12 de abril de 2014.

encuentra ubicado a una distancia de 19 kilómetros de la ciudad capital. El municipio de Mixco tiene una extensión territorial de 132 kilómetros cuadrados y la planta de tratamiento cuenta con 2 kilómetros cuadrados de terreno disponible.

2.1.2. Ubicación geográfica y colindancias

El municipio de Mixco colinda al norte con el municipio de San Pedro Sacatepéquez, al sur con el municipio de Villa Nueva, al este con los municipios de Chinautla y Guatemala; y al oeste con los municipios de San Lucas y Santiago Sacatepéquez.

En el espacio geográfico, Mixco se encuentra ubicado en la latitud norte 14 G 16 M y en la longitud oeste 90 G 34 M, situado a una altitud de 1,650 msnm.

Figura 3. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales



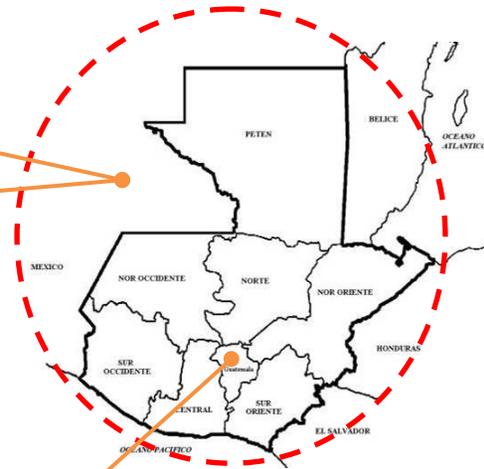
Fuente: Google Earth. <http://earth.google.com>. Consulta: septiembre de 2013.

Figura 4. **Centroamérica - Guatemala**



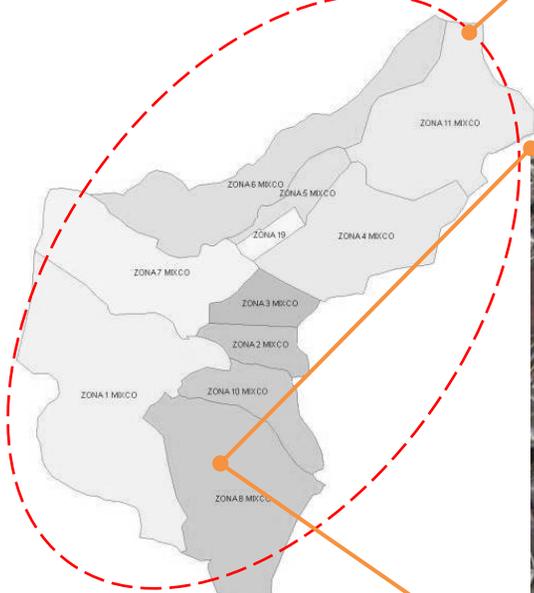
Fuente: <http://www.viajejet.com/mapa-politico-de-america-central>. Consulta: septiembre de 2013.

Figura 5. **Guatemala**



Fuente: <http://mapadeguatemala.net/mapa-de-guatemala-blanco-y-negro>. Consulta: septiembre de 2013.

Figura 6. **Municipio de Mixco**



Fuente: <http://mapademixco.net/mapa-de-mixcoguatemala-blanco-y-negro>. Consulta: septiembre de 2013.

Figura 7. **Localización de la planta de tratamiento San Cristóbal**



Fuente: *Google Earth*. <http://earth.google.com>. Consulta: septiembre de 2013.

Mixco es un municipio del departamento de Guatemala que cuenta con una extensión territorial de 132 kilómetros cuadrados y una altura sobre el nivel del mar de 1 650 metros o 5 412 pies.

2.1.3. Accesos y comunicaciones

La principal carretera que atraviesa el municipio es la Ruta Nacional 1 o Interamericana CA-1 que conduce a la frontera con México. La Ruta Nacional 5 que de la ciudad de Guatemala conduce al Petén atraviesa en parte Mixco.

2.1.4. Aspectos climatológicos e hidrográficos

El clima guarda características templadas y en algunas regiones características semisecas. La estación meteorológica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) es la más cercana al municipio, “registra temperatura media anual de 18,3 °C.; temperatura máxima media 24,5 °C, temperatura mínima promedio 14 °C, precipitación pluvial promedio 1 196,8 mm. promedio/año, días de lluvia al año 138, humedad relativa media 78 %, evaporación media a la intemperie 120,2 mm., presión atmosférica media 640,5 mm. de Hg., brillo solar promedio 203,6 horas/año. El período en que las lluvias son más frecuentes es de mayo a noviembre, variando en intensidad según la situación”.²⁰

20. www.insivumeh.gob.gt. Consulta: septiembre de 2013.

3. METODOLOGÍA

Previo a determinar los parámetros físicos y químicos por examinar, se solicitaron las dimensiones a la entidad encargada de la planta de tratamiento AMSA, datos estadísticos de caudales y que adquirieran los Microorganismos Efectivos (ME) para poder realizar las pruebas.

Luego se procedió a realizar los análisis fisicoquímicos en el laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina; sin aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), utilizando muestras de tipo compuesta.

Para la comprobación de la eficiencia de los Microorganismos Efectivos (ME) se realiza la activación de los mismos, procediendo a dosificarlos en la planta de tratamiento; permitiendo así verificar la eficiencia de esta, mediante análisis fisicoquímicos al agua.

3.1. Puntos de muestreo

En plantas de tratamiento, los puntos de muestreo requeridos están situados: antes de la planta (agua cruda) y después de la planta (rendimiento del tratamiento), y considerando que el objetivo es determinar la eficiencia del sistema, los puntos donde se están recolectando las muestras son:

Figura 8. **Punto 1: entrada a la planta (agua cruda)**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Figura 9. **Punto 2: salida de la planta**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

3.1.1. Número y tipo de muestras

El tipo de muestra que se realizó en este estudio fue de tipo compuesta. Se recolectaron tres (3) muestras en cada punto de medición con intervalos de tres (3) horas en promedio, comenzando a las 8 AM y finalizando a las 2:00 PM. Estas muestras se recolectaron en ambos puntos de muestreo, es decir, se recolectaron dos (2) muestras en cada etapa de medición [antes de la planta (agua cruda) y después de la planta (rendimiento del tratamiento)].

3.1.2. Análisis estadístico para determinar el número de muestras

Con el propósito de calcular el número de muestras, de conformidad con el método 1 060 B, de los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales se utilizaron las curvas de niveles de confianza establecidos a partir de la fórmula:

$$N \geq \left(\frac{ts}{U} \right)^2$$

Donde:

N = el número de muestras

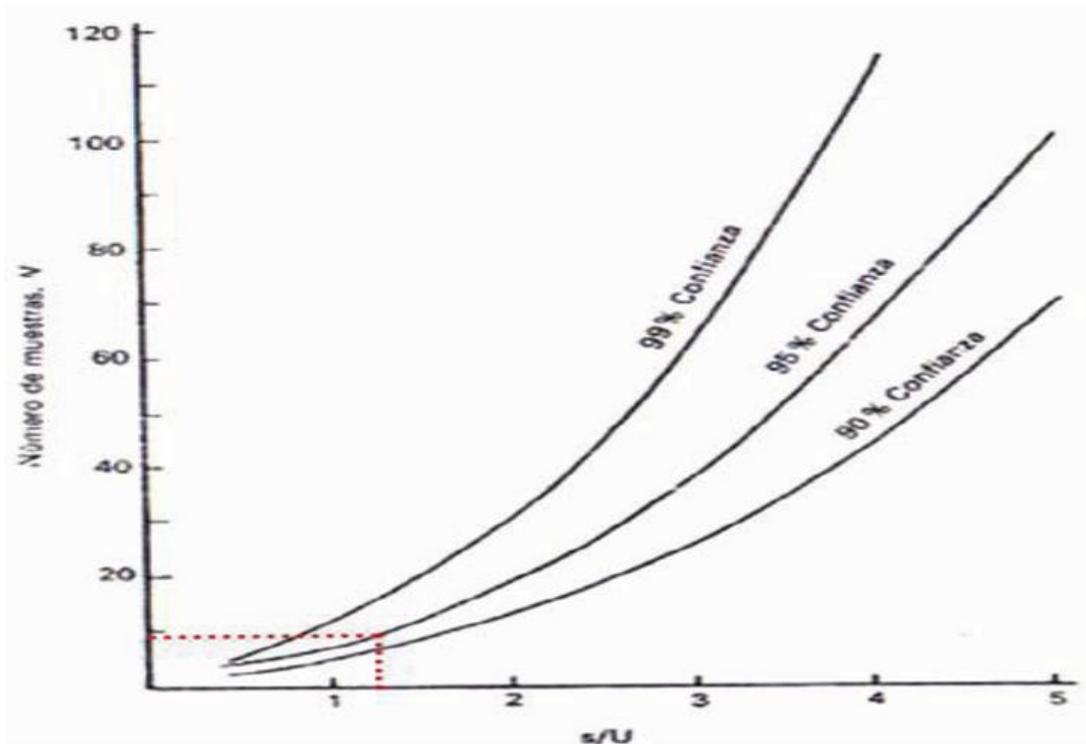
t = la t de Student para un nivel de confianza determinado

s = la desviación estándar global

U = el nivel de confianza aceptable

Se procedió a interpolar en las curvas respectivas para un nivel de confianza del 95 %, y se obtiene que el número de muestras por tomar deba ser mayor o igual a 6.

Figura 10. Curvas de niveles de confianza



Fuente: GALINDO VALERIANO, Carlos René. *Estudio, caracterización y tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas*. p. 21.

El número de muestras que se recolectaron en este estudio fue de diez (10) durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2011.

El tipo de muestra que se realizó en este estudio fue de tipo compuesta. Se recolectaron tres (3) muestras en cada punto de medición con intervalos de tres (3) horas en promedio, comenzando a las 8 AM y finalizando a las 2:00 PM.

Se recolectaron dos (2) muestras en cada etapa de medición [antes de la planta (agua cruda) y después de la planta (rendimiento del tratamiento)]. Los análisis de calidad del agua se realizaron inmediatamente después de haber

recolectado la muestra, en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Las primeras dos muestras fueron las bases, estas se recolectaron el 09 de junio de 2011 y el 15 de junio de 2011 respectivamente; las dos muestras corresponden a la operación normal de la planta de tratamiento de aguas residuales sin aplicar los Microorganismos Efectivos (ME).

La muestra del número tres a la diez se recolectaron del 10 de agosto de 2011 al 28 de septiembre de 2011, estas muestras corresponden a la calidad de agua de la planta de tratamiento de aguas residuales aplicando los Microorganismos Efectivos (ME).

La muestra número tres se realizó a los treinta días después de que se inició la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME).

3.2. Aplicación de los Microorganismos Efectivos (ME)

Los Microorganismos Efectivos (ME) se activaron en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) en tanques de polietileno de 1 000 litros; la fermentación duro 15 días.

Para obtener 1 000 litros de Microorganismos Efectivos Activados (ME-A) se realizó lo siguiente:

- Llene el recipiente plástico con agua (900 litros)
- Microorganismos efectivos (50 litros)
- Melaza de caña o azúcar (50 litros)
- Agitar (solución homogénea)
- Cerrar el tanque de polietileno para evitar entradas de aire

- Temperatura de 25 a 40 grados Celsius (temperatura ambiente)
- 15 días de fermentación
- Extracción de gas
- Activado (PH por debajo de 3.5 y olor agridulce) y
- Se utilizo durante los 35 días siguientes.

La caña de azúcar para AMSA no tiene ningún costo ya que ha realizado diferentes convenios para abastecerse de esta materia por medio de los ingenios en Guatemala.

4. RESULTADOS

Se realizaron los diferentes análisis de calidad de agua residual en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina:

- Sólidos sedimentables
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Sólidos suspendidos
- Turbiedad
- Color
- Potencial de Hidrogeno (PH) y
- Temperatura.

4.1. **Análisis calidad del agua residual sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)**

Se realizaron los análisis de calidad de agua a la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), antes de iniciar la aplicación de los Microorganismos Efectivos (ME) para tomar estos como base para la comparación de las eficiencias en los parámetros evaluados.

Se recolectaron dos (2) muestras en cada fecha de medición [antes de la planta (agua cruda) y después de la planta (rendimiento del tratamiento)]. Los análisis de calidad del agua se realizaron inmediatamente después de haber recolectado la muestra, en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Tabla I. **Análisis de calidad de agua residual sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)**

Calidad de agua residual en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama)		09/06/2011		15/06/2011	
		Muestra Entrada	Muestra Salida	Muestra Entrada	Muestra Salida
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	5	0.1	2.8	0.1
DQO	mg/L	605	311	560	310
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8.8	10.7	11.4	13.5
FÓSFORO TOTAL	mg/L	6.8	6.1	6.65	6.05
DBO ₅	mg/L	296	200	184	135
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	mg/L	128	31	152	37
TEMPERATURA	°C	26.9	26.8	27.2	26.5
TURBIEDAD	NTU	180	68.7	129	64.4
COLOR		310	180	315	170
PH		7.141	7.223	7.389	7.223

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Las muestras recolectadas fueron de tipo compuesta. Se recolectaron tres (3) muestras en cada punto de medición con intervalos de tres (3) horas en

promedio, comenzando a las 8 AM y finalizando a las 2:00 PM. Después de esta hora se procedió al análisis en el laboratorio.

Las primeras dos muestras fueron las bases, estas corresponden a la operación normal de la planta de tratamiento de aguas residuales sin aplicar los Microorganismos Efectivos (EM).

4.1.1. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)

Antes de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), se realizaron dos pruebas de laboratorio que fueron tomadas como base para evaluar la eficiencia de la aplicación de dichos microorganismos, obteniendo una eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de materia orgánica del 30 % aproximadamente.

Las eficiencias en algunos parámetros evaluados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME) son muy bajos; debido a que se tiene un caudal excedente; motivo por el cual los resultados no son los esperados al diseñar este tipo de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Tabla II. **Eficiencias de la planta de tratamiento de aguas residuales sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)**

Eficiencias sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)			
Análisis calidad de agua residual	Muestra No. 1 (%)	Muestra No. 2 (%)	Eficiencia Promedio (%)
Sólidos sedimentables (%)	98.00	96.43	97.21 %
DQO (%)	48.60	44.64	46.62 %
Nitrógeno total (%)	-21.59	-18.42	- 20.00 %
Fósforo total (%)	10.29	9.02	9.65 %
DBO ₅ (%)	32.43	26.63	29.53 %
Sólidos suspendidos (%)	75.78	75.66	75.72 %
Turbiedad (%)	61.83	50.08	55.95 %
Color (%)	61.83	46.03	53.93 %

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

4.2. Análisis de calidad del agua residual aplicando Microorganismos Efectivos (ME)

Los Microorganismos Efectivos (ME) fueron activados en recipientes de polietileno de 1 000 litros, posteriormente se aplicaron a la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama); estos fueron dosificándose mediante el volumen de agua residual que ingresa a la planta por segundo.

A los treinta días de haber iniciado la dosificación de los Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de aguas residuales se realizó el tercer análisis de calidad de agua residual.

Se recolectaron dos (2) muestras en cada fecha de medición [antes de la planta (agua cruda) y después de la planta (rendimiento del tratamiento)]. Los análisis de calidad del agua se realizaron inmediatamente después de haber recolectado la muestra, en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Las muestras recolectadas fueron de tipo compuesta. Se recolectaron tres (3) muestras en cada punto de medición con intervalos de tres (3) horas en promedio, comenzando a las 8 AM y finalizando a las 2:00 PM. Después de esta hora se procedió al análisis en el laboratorio.

Se realizaron ocho análisis de calidad de agua residual después de haber iniciado la dosificación de los Microorganismos Efectivos (ME). Ver resultados en anexos.

4.2.1. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)

Después de haber iniciado la dosificación de los Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), se realizaron ocho análisis de calidad de agua en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Las ocho muestras fueron utilizadas para evaluar la eficiencia de los parámetros fisicoquímicos establecidos en el presente estudio, al aplicar Microorganismos Efectivos (ME) en las aguas residuales, obteniendo una remoción de materia orgánica del 49 % aproximadamente.

Las muestras de calidad de agua residual No. 3 a la No. 10, representan el comportamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales durante el tiempo en que fueron aplicados los Microorganismos Efectivos (ME). Ver resultados en anexos.

Las eficiencias en algunos parámetros evaluados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aplicando Microorganismos Efectivos (ME) son muy bajos, debido a que se tiene un caudal excedente, motivo por el cual los resultados no son los esperados.

En la siguiente tabla se muestran las eficiencias obtenidas en cada uno de los parámetros, que surgen como resultado, del análisis de la calidad de agua residual, alcanzando así las eficiencias promedio.

Tabla III. **Eficiencia de la planta de tratamiento aplicando Microorganismos Efectivos (ME)**

Análisis calidad de agua residual	Eficiencia aplicando Microorganismos Efectivos (ME)										Eficiencia Promedio (%)
	Muestra No. 3 (%)	Muestra No. 4 (%)	Muestra No. 5 (%)	Muestra No. 6 (%)	Muestra No. 7 (%)	Muestra No. 8 (%)	Muestra No. 9 (%)	Muestra No. 10 (%)			
Sólidos sedimentables (%)	99.55	99.50	100.00	100.00	99.20	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.78 %
DQO (%)	44.92	44.31	41.97	41.00	41.76	45.34	56.82	54.24	56.82	54.24	46.30 %
Nitrógeno total (%)	-7.50	-13.33	-3.75	-1.30	-28.00	-30.28	-28.13	-14.10	-28.13	-14.10	-15.80 %
Fósforo total (%)	9.93	37.50	28.95	18.18	18.18	26.67	30.77	33.33	30.77	33.33	25.43 %
DBO ₅ (%)	38.94	37.31	37.44	47.25	53.68	55.16	56.85	62.15	56.85	62.15	48.60 %
Sólidos suspendidos (%)	78.08	82.46	83.22	82.94	81.98	90.22	88.79	90.22	88.79	90.22	84.74 %
Turbiedad (%)	41.03	37.52	38.64	33.82	39.95	37.44	52.83	59.50	52.83	59.50	42.59 %
Color (%)	47.54	40.38	34.15	35.00	39.47	48.57	50.00	54.05	50.00	54.05	43.65 %

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla IV. **Comparación de eficiencias en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala, al aplicar Microorganismos Efectivos (ME)**

Comparación de eficiencias en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) al aplicar Microorganismo Efectivos (ME)			
Parámetros calidad de agua residual	Sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)	Aplicando Microorganismos Efectivos (ME)	Aumento o disminución en el porcentaje de eficiencia
Sólidos sedimentables (%)	97.21 %	99.78 %	+ 2.57 %
DQO (%)	46.62 %	46.30 %	- 0.30 %
Nitrógeno total (%)	- 20.00 %	-15.80 %	+ 4.20 %
Fósforo total (%)	9.65 %	25.43 %	+ 15.78 %
DBO5 (%)	29.53 %	48.60 %	+ 19.07 %
Sólidos suspendidos (%)	75.72 %	84.74 %	+ 9.02 %
Turbiedad (%)	55.95 %	42.59 %	- 13.36 %
Color (%)	53.93 %	43.65 %	+ 10.28 %

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

A continuación se presenta el análisis de los diferentes parámetros evaluados y el aumento en la eficiencia que se obtuvo en cada uno, al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales.

5.1. Parámetros evaluados

A continuación se presentan los parámetros evaluados de las diferentes muestras tomadas en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), las cuales se analizaron en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

5.1.1. Eficiencia en remoción de sólidos sedimentables

“Los sólidos sedimentables son aquellos que se decantan cuando el agua se deja en reposo. Se determinaron volumétricamente mediante el uso del cono Imhoff”.²¹

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aumentó 2,57 % su eficiencia en remoción de sólidos sedimentables, al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

21. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 59.

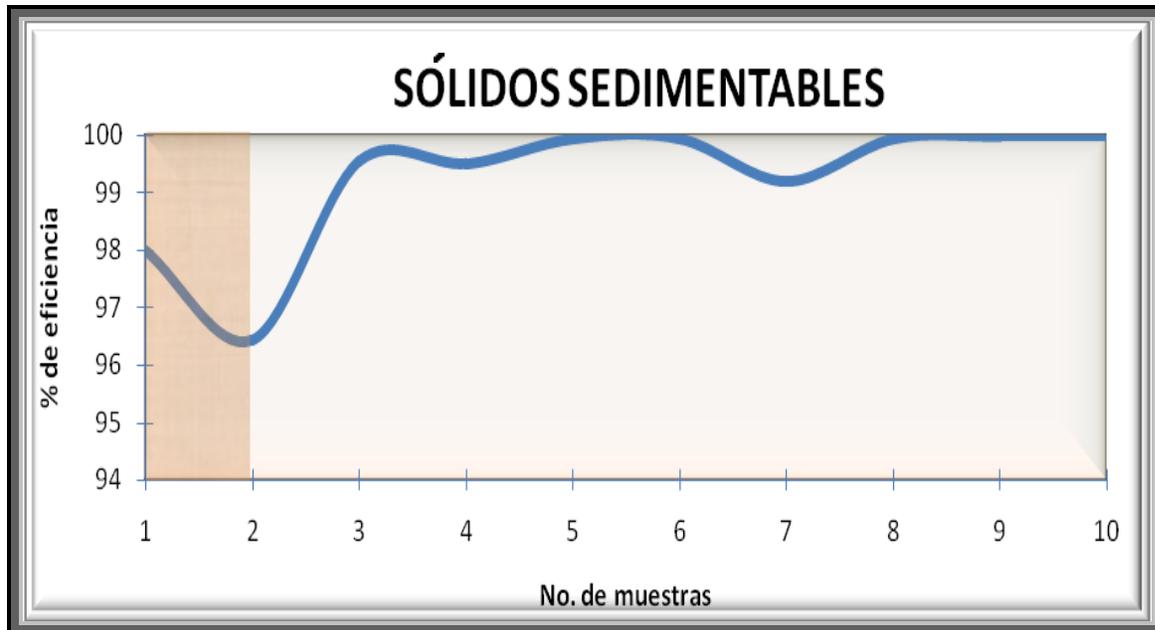
Tabla V. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos sedimentables antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

SÓLIDOS SEDIMENTABLES				
No.	Fecha muestras	Entrada (ml)	Salida (ml)	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	5	0.1	98.00
2	15/06/2011	2.8	0.1	96.43
3	10/08/2011	2.2	0.01	99.55
4	18/08/2011	2	0.01	99.50
5	24/08/2011	1.2	0	100.00
6	31/08/2011	1	0	100.00
7	07/09/2011	2.5	0.02	99.20
8	14/09/2011	1.1	0	100.00
9	21/09/2011	1.5	0	100.00
10	28/09/2011	1	0	100.00
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				+ 2.57 %
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho aumento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 11. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos sedimentables antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. **Eficiencia en remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

“La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica en el agua residual”.²²

22. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 93.

Tabla VI. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

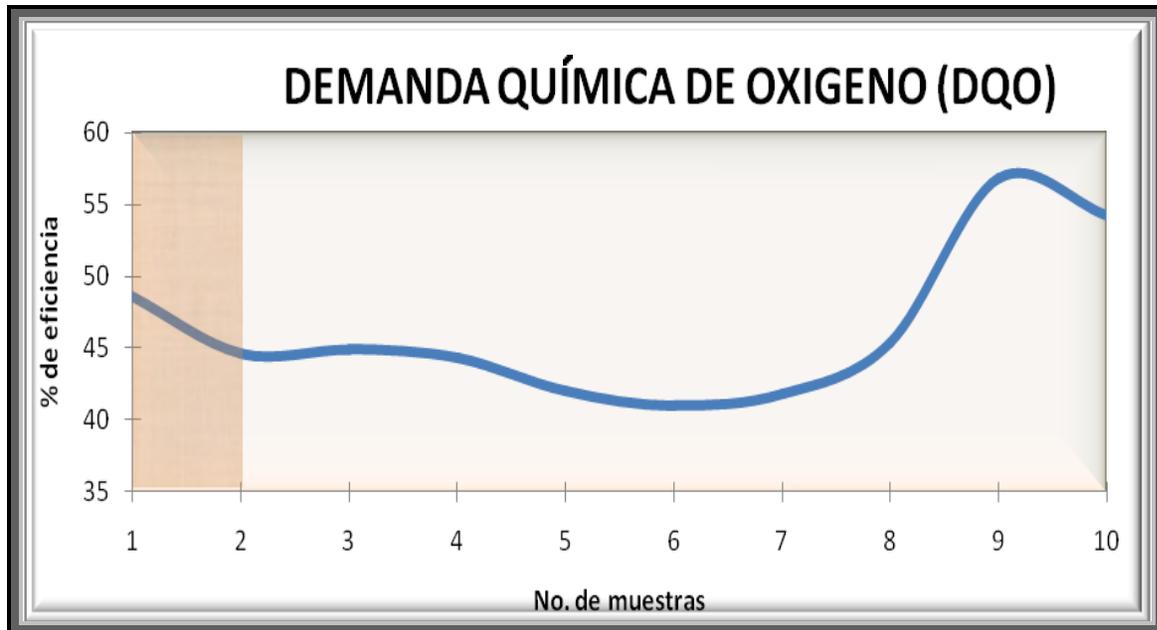
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)				
No.	Fecha muestras	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	605	311	48,60
2	15/06/2011	560	310	44,64
3	10/08/2011	512	282	44,92
4	18/08/2011	404	225	44,31
5	24/08/2011	386	224	41,97
6	31/08/2011	339	200	41,00
7	07/09/2011	340	198	41,76
8	14/09/2011	386	211	45,34
9	21/09/2011	447	193	56,82
10	28/09/2011	389	178	54,24
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				- 0.30 %
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) disminuyó 0,30 % su eficiencia en remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho decremento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 12. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

La eficiencia en la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) no fue muy notable; al observar los análisis de calidad de agua residual, se concluye que esta no permaneció estable en la entrada de la planta pero el efluente fue de mejor calidad.

5.1.3. Eficiencia en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

“El parámetro de contaminación orgánica más empleado, aplicable a las aguas residuales, es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a 5 días (DBO₅). La determinación del mismo está relacionada con la medición del

oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos. Se determinaron a los cinco días a 20 grados Celsius”.²³

Tabla VII. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)				
No.	Fecha muestras	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	296	200	32,43
2	15/06/2011	184	135	26,63
3	10/08/2011	226	138	38,94
4	18/08/2011	201	126	37,31
5	24/08/2011	203	127	37,44
6	31/08/2011	273	144	47,25
7	07/09/2011	285	132	53,68
8	14/09/2011	281	126	55,16
9	21/09/2011	292	126	56,85
10	28/09/2011	354	134	62,15
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				+ 19,07%
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

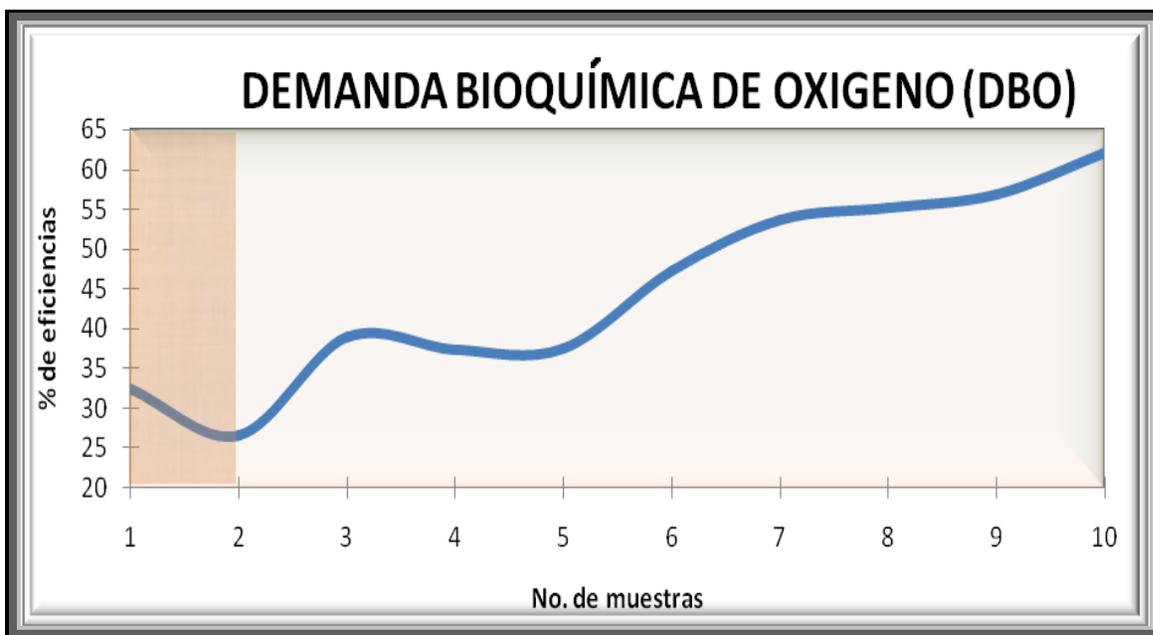
La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aumentó 19,07 % su eficiencia en remoción de la Demanda

23. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 80.

Bioquímica de Oxígeno (DBO), al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho aumento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 13. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

5.1.4. **Eficiencia en remoción de nitrógeno total**

“El nitrógeno es un elemento importante en las aguas residuales ya que es necesario para el crecimiento de los microorganismos. Si el agua residual no

contiene suficiente nitrógeno pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. Pero también el nitrógeno es un contribuyente especial para el agotamiento del oxígeno en las aguas residuales cuando se encuentra en elevadas concentraciones”.²⁴

Tabla VIII. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de nitrógeno total antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)

NITRÓGENO TOTAL				
No.	Fecha muestras	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	8,8	10,7	-21,59
2	15/06/2011	11,4	13,5	-18,42
3	10/08/2011	8	8,6	-7,50
4	18/08/2011	3	3,4	-13,33
5	24/08/2011	8	8,3	-3,75
6	31/08/2011	7,7	7,8	-1,30
7	07/09/2011	5	6,4	-28,00
8	14/09/2011	10,9	14,2	-30,28
9	21/09/2011	9,6	12,3	-28,13
10	28/09/2011	7,8	8,9	-14,10
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				+ 4,20%
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

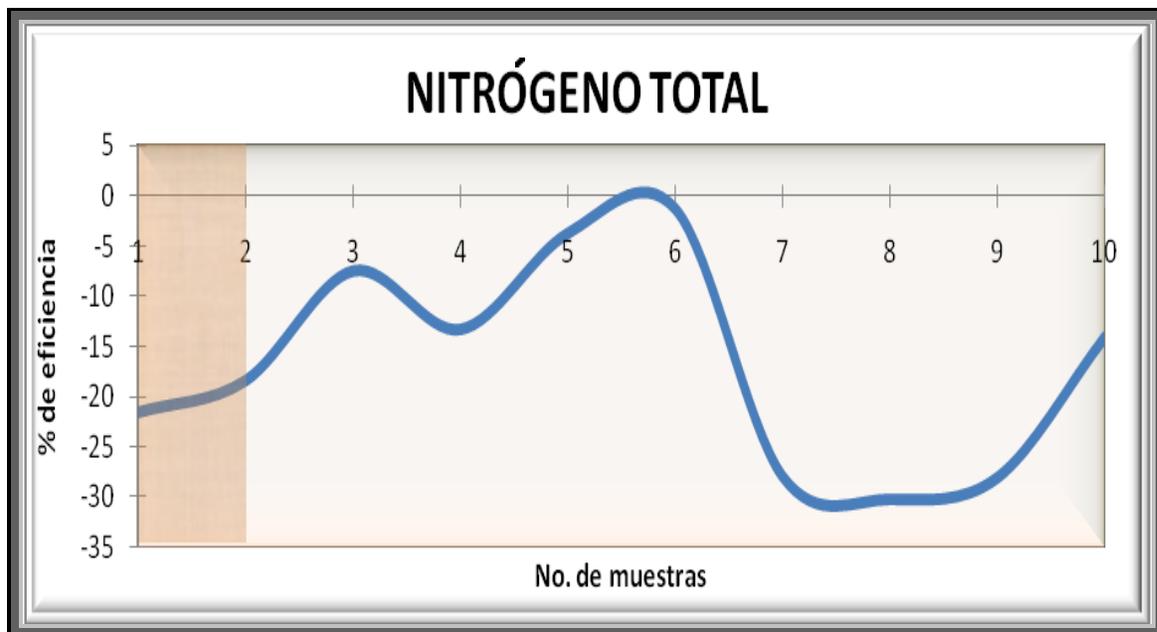
La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aumentó 4,20 % su eficiencia en remoción de nitrógeno total, al

24. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 97.

aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho aumento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 14. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de nitrógeno total antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

La buena operación y mantenimiento en este tipo de plantas es de suma importancia. Esta necesita mantenimiento ya que el nitrógeno, en lugar de ser removido, este se incrementa. En los humedales es necesario chapear el tul para que esta pueda absorber los nutrientes y depurar la materia orgánica en las aguas residuales.

5.1.5. Eficiencia en remoción de fósforo total

“El fósforo es esencial para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual recibe el nombre de nutriente o bioestimulador. Si el agua residual no contiene suficiente fósforo pueden ocurrir problemas por deficiencia de nutrientes durante el tratamiento secundario. Pero también puede favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada; cuando se vierten en cantidades excesivas, pueden provocar la contaminación del agua subterránea”.²⁵

Tabla IX. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de fósforo total antes y después de aplicar los ME**

FÓSFORO TOTAL				
No.	Fecha Muestras	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	6,8	6,1	10,29
2	15/06/2011	6,65	6,05	9,02
3	10/08/2011	7,05	6,35	9,93
4	18/08/2011	8	5	37,50
5	24/08/2011	3,8	2,7	28,95
6	31/08/2011	5,5	4,5	18,18
7	07/09/2011	5,5	4,5	18,18
8	14/09/2011	7,5	5,5	26,67
9	21/09/2011	6,5	4,5	30,77
10	28/09/2011	7,5	5	33,33
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				+ 15,78%
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

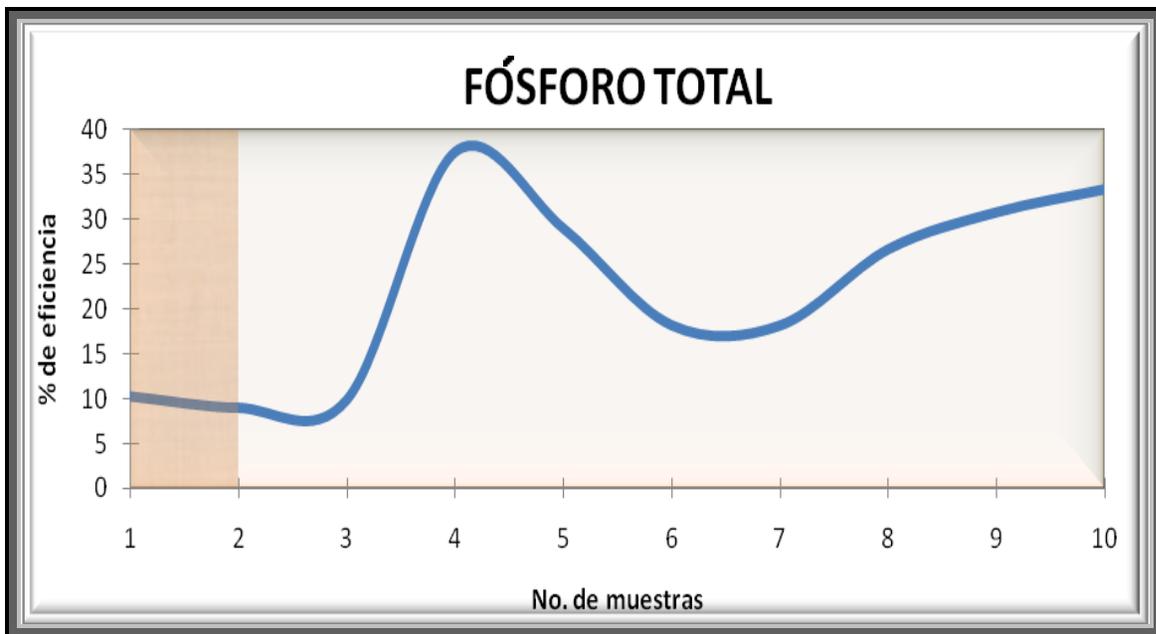
Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

25. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 56.

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aumentó 15,78 % su eficiencia en remoción de fósforo total, al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho aumento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 15. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de fósforo total antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

El fósforo se incrementa al igual que el nitrógeno. En los humedales la planta de tratamiento necesita mantenimiento.

5.1.6. Eficiencia en remoción de sólidos suspendidos

“Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido de sólidos; los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático”.²⁶

Tabla X. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos suspendidos antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

SÓLIDOS SUSPENDIDOS				
No.	Fecha muestras	Entrada (mg/L)	Salida (mg/L)	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	128	31	75,78
2	15/06/2011	152	37	75,66
3	10/08/2011	146	32	78,08
4	18/08/2011	134	23,5	82,46
5	24/08/2011	146	24,5	83,22
6	31/08/2011	170	29	82,94
7	07/09/2011	172	31	81,98
8	14/09/2011	92	9	90,22
9	21/09/2011	232	26	88,79
10	28/09/2011	92	9	90,22
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				+ 9.02%
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

26. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 56.

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aumentó 9,02 % su eficiencia en remoción de sólidos suspendidos, al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho aumento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 16. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de sólidos suspendidos antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

5.1.7. Eficiencia en remoción de turbiedad

“La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz del agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas; en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones”.²⁷

Tabla XI. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro turbiedad antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

TURBIEDAD				
No.	Fecha muestras	Entrada (NTU)	Salida (NTU)	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	180	68,7	61,83
2	15/06/2011	129	64,4	50,08
3	10/08/2011	117	69	41,03
4	18/08/2011	105	65,6	37,52
5	24/08/2011	66	40,5	38,64
6	31/08/2011	74,8	49,5	33,82
7	07/09/2011	73,1	43,9	39,95
8	14/09/2011	86,8	54,3	37,44
9	21/09/2011	76,1	35,9	52,83
10	28/09/2011	75,8	30,7	59,50
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				- 13.36%
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

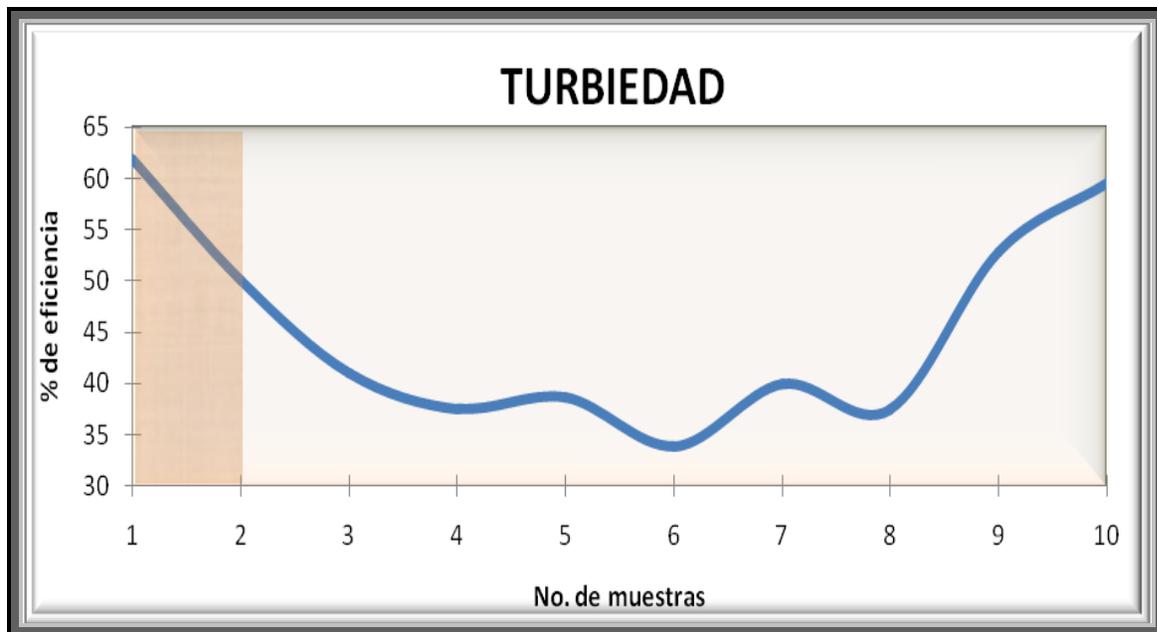
Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

27. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 72.

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) disminuyó 13,36 % su eficiencia en el parámetro turbiedad, al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho comportamiento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 17. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro turbiedad antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

5.1.8. Eficiencia en remoción de color

“La edad del agua residual hace referencia al color y olor de la misma. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo, sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegando este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas. En la mayoría de los casos, el color gris, gris oscuro o negro del agua residual es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.²⁸

La planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aumentó 10,28 % su eficiencia en el parámetro color, al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos fueron analizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

28. Metcalf & Eddy. *Ingeniería de Aguas Residuales*. p. 72.

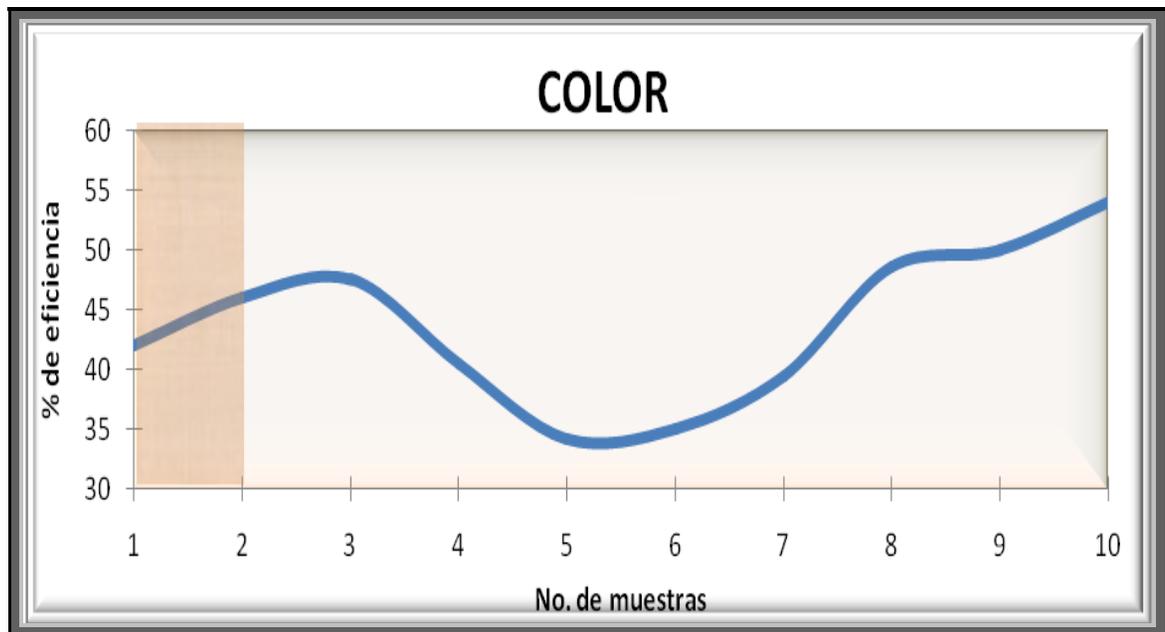
Tabla XII. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro color antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

COLOR				
No.	Fecha muestras	Entrada	Salida	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	310	180	41,94
2	15/06/2011	315	170	46,03
3	10/08/2011	305	160	47,54
4	18/08/2011	260	155	40,38
5	24/08/2011	205	135	34,15
6	31/08/2011	200	130	35,00
7	07/09/2011	190	115	39,47
8	14/09/2011	175	90	48,57
9	21/09/2011	160	80	50,00
10	28/09/2011	185	85	54,05
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)				+ 10,28 %
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)				

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa dicho aumento al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 18. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro color antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

5.1.9. Comportamiento del PH

Los ensayos realizados de PH al agua residual, se analizaron en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina, se obtuvo un decremento del PH en todas las pruebas; al aplicar Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama).

Tabla XIII. Comportamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en el parámetro PH antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)

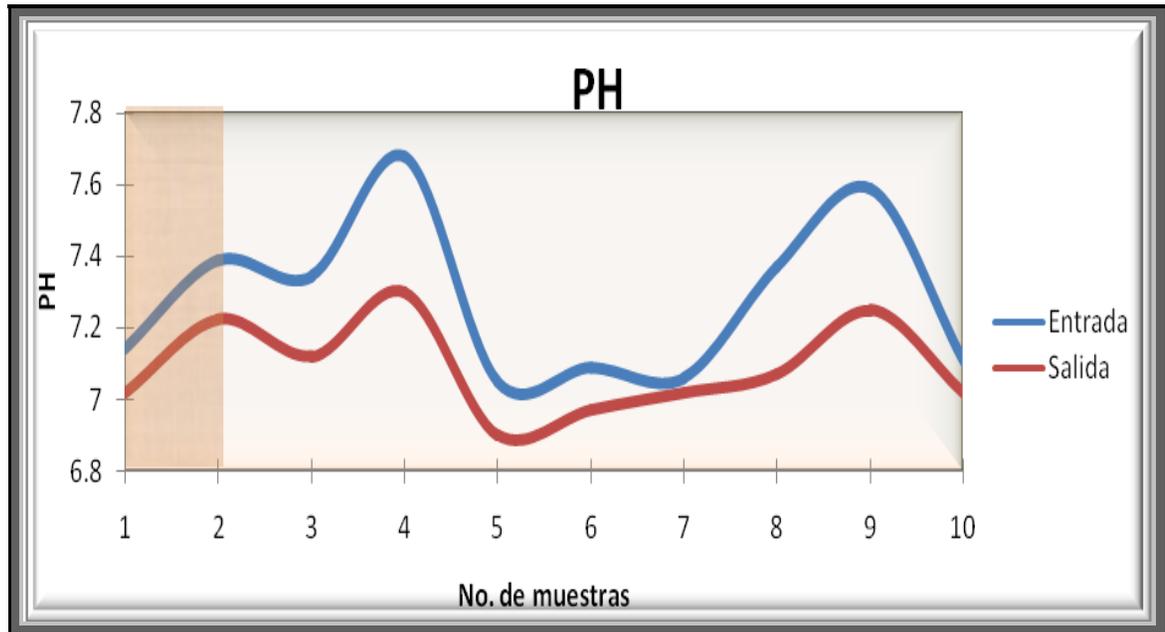
PH				
No.	Fecha muestras	Entrada	Salida	Variación del PH
1	09/06/2011	7,141	7,02	- 0,12
2	15/06/2011	7,389	7,223	- 0,17
3	10/08/2011	7,345	7,12	- 0,23
4	18/08/2011	7,68	7,3	- 0,38
5	24/08/2011	7,05	6,9	- 0,15
6	31/08/2011	7,09	6,97	- 0,12
7	07/09/2011	7,06	7,02	- 0,04
8	14/09/2011	7,37	7,07	- 0,30
9	21/09/2011	7,59	7,25	- 0,34
10	28/09/2011	7,11	7,02	- 0,09

Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria,
Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa el comportamiento del PH al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 19. **Comportamiento del parámetro PH antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

5.1.10. **Comportamiento de la temperatura**

Los ensayos realizados de temperatura al agua residual, se analizaron en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina, se obtuvo un decremento de la temperatura en todas las pruebas al aplicar microorganismos efectivos en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama).

Tabla XIV. **Comportamiento de la temperatura antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

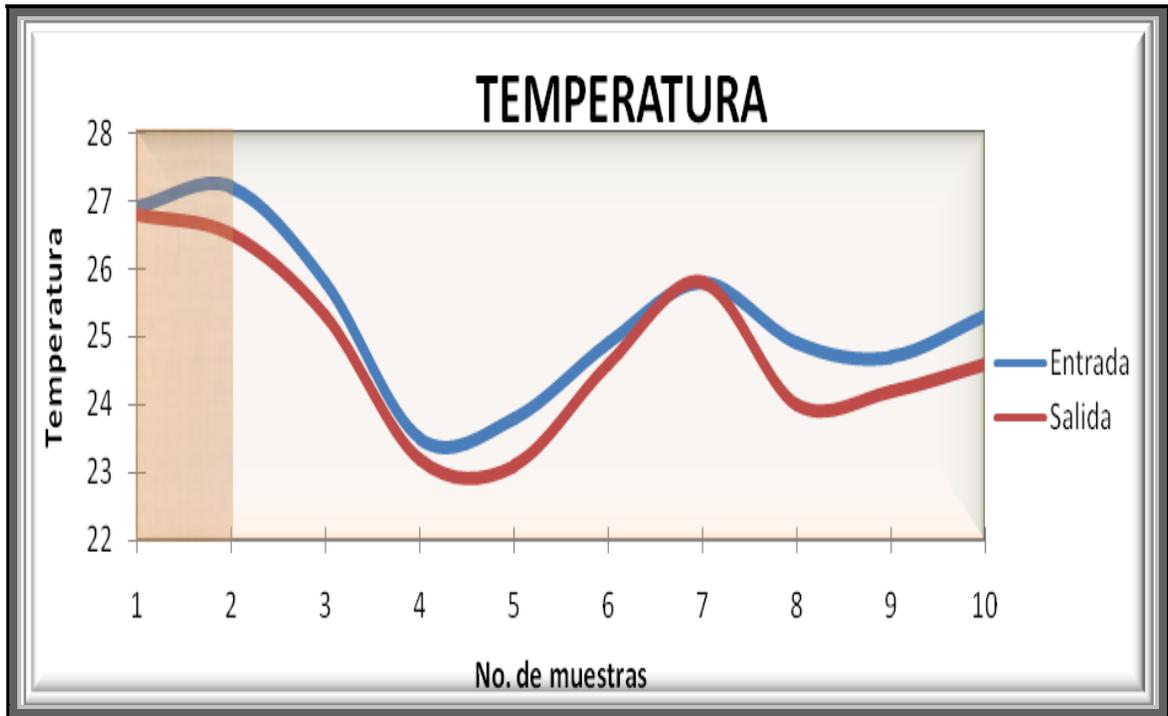
TEMPERATURA				
No.	Fecha muestras	Entrada	Salida	Variación de la temperatura
1	09/06/2011	26,9	26,8	-0,10
2	15/06/2011	27,2	26,5	-0,70
3	10/08/2011	25,8	25,3	-0,50
4	18/08/2011	23,5	23,2	-0,30
5	24/08/2011	23,8	23,1	-0,70
6	31/08/2011	24,9	24,6	-0,30
7	07/09/2011	25,8	25,8	0,00
8	14/09/2011	24,9	24	-0,90
9	21/09/2011	24,7	24,2	-0,50
10	28/09/2011	25,3	24,6	-0,70

Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En la siguiente gráfica se representa el comportamiento del PH al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual.

Figura 20. **Comportamiento del parámetro temperatura antes y después de aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**



Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME).

Fuente: elaboración propia.

5.2. **Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de materia orgánica al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en remoción de materia orgánica está dada por el parámetro DBO_5 ; que es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la misma. Esta se mide a los cinco días.

El valor de la DBO₅ hace referencia a la calidad del agua residual desde el punto de vista de la materia orgánica presente, y permite preveer cuánto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas; e ir comprobando la eficacia del tratamiento depurador de la planta en este tipo de remoción.

Tabla XV. **Eficiencia de la planta de tratamiento en remoción de materia orgánica al aplicar los Microorganismos Efectivos (ME)**

Eficiencia en remoción de materia orgánica		
No.	Fecha muestras	Eficiencia (%)
1	09/06/2011	32,43
2	15/06/2011	26,63
3	10/08/2011	38,94
4	18/08/2011	37,31
5	24/08/2011	37,44
6	31/08/2011	47,25
7	07/09/2011	53,68
8	14/09/2011	55,16
9	21/09/2011	56,85
10	28/09/2011	62,15
Aumento o disminución en el porcentaje de la eficiencia utilizando Microorganismos Efectivos (ME)		+ 19.07 %
Nota: la muestra No. 1 y 2 fueron analizadas sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME)		

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria,
Dra. Alba Tabarini Molina.

La planta de tratamiento tenía una eficiencia en remoción de materia orgánica de un 29,53 % sin utilizar ME, y con estos se ha obtenido una eficiencia del 48,60 %. Se deseaba alcanzar una eficiencia de hasta un 85 % por lo que el estudio no cumple con la hipótesis; se debe tomar en cuenta que al evaluar la planta de tratamiento se encontró un caudal excedente del 75,85 %

y que la compra de los equipos de aireación y su mantenimiento no pueden ser financiados por AMSA. Se deberá seguir aplicando los ME y evaluarlos posteriormente para verificar si la calidad de agua residual continua mejorando.

5.3. Comparación de resultados con normas

En la ciudad de Guatemala el *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006)* es el que rige la normativa para las aguas residuales. Este se utilizó en el presente trabajo para comparar los parámetro del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama). Ver anexos.

A continuación se presenta la comparación de los parámetros evaluados de la última muestra (resultados obtenidos vs normativa):

Tabla XVI. **Comparación de resultados con la normativa**

Calidad de agua residual en planta de tratamiento "San Cristóbal"		Muestra No. 10 (28/09/2011)		
		Salida	Límite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0	no normado	
DQO	mg/L	178	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8.9	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	5	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	134	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	9	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	24.6	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	30.7	no normado	
COLOR		85	500.00	✓
PH		7.02	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se presento la muestra No. 10; en esta todos los parámetros evaluados cumplen con las normas establecidas en el reglamento, excepto la DBO₅.

En la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) se deseaba cumplir con el *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006)* por lo que el estudio no cumple con la hipótesis.

5.4. Evaluación - costo - de los Microorganismos Efectivos (ME)

La aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual, representa un costo de:

Tabla XVII. **Costo Microorganismos Efectivos Activados (ME-A)**

Costo Microorganismos Efectivos Activados (ME-A)		
Ingredientes para la activación de los ME	UNIDAD	PRECIO
Microorganismos Efectivos (ME)	1litro	Q 96,00
Melaza o caña de azúcar	1litro	Q 30,00
Agua	18 litros	Q 0,00
Subtotal ME-A	20 litros	Q 126,00
Costo total de un litro de ME-A		Q 6,30

Nota: la tasa de cambio es de Q7.80 por US\$1.00

Fuente: elaboración propia.

Estos precios aplican en la ciudad de Guatemala (precio comercial); como la dosis de aplicación de los Microorganismos Efectivos Activados (ME-A) es de un litro por cada metro cúbico de agua residual; se puede concluir que para tratar un metro cúbico de agua residual con dichos microorganismos representaría un costo de Q 6,30/metro cúbico.

AMSA tiene convenios con los ingenios en Guatemala. Estos donan caña de azúcar a dicha autoridad y la empresa que distribuye los Microorganismos Efectivos (ME) en Guatemala brinda un precio especial por volumen de compra de los mismos; llegando a un costo de Q 96,00 por caneca (20 litros). Costo por litro Q 4,80.

Tabla XVIII. Costo ME-A al aplicarlos en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama)

Costo ME-A al aplicarlos en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama)		
Ingredientes para la activación de los ME	UNIDAD	PRECIO
Microorganismos Efectivos (ME)	1Litro	Q 4,80
Melaza o caña de azúcar	1Litro	Q 0,00
Agua	18 Litros	Q 0,00
Subtotal ME-A	20 Litros	Q 4,80
Costo total de un litro de ME-A		Q 0,24

Nota: la tasa de cambio es de Q7.80 por US\$1.00

Fuente: elaboración propia.

La dosis de aplicación de los Microorganismos Efectivos Activados (ME-A) es de un litro por cada metro cúbico de agua residual; se puede concluir que el costo por tratar cada metro cúbico que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) es de Q 0,24/metro cúbico.

El volumen total de la planta de tratamiento es de 1 728 metros cúbicos diarios utilizando un caudal medio de 20 litros/segundo; aplicar diariamente los microorganismo efectivos costaría Q 414,72/día.

Esto significa que mensualmente AMSA invertiría Q 12 441,60 en la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) a la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama).

La población actual es de 30 000 habitantes aproximadamente; haciendo un total de 6 000 viviendas; estas tienen una cuota mensual por parte de la municipalidad en alcantarillado público. AMSA podría implementar este costo por vivienda para que la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) sea factible. El costo adicional por vivienda sería de Q 2,08 vivienda/mensual aproximadamente.

5.4.1. Eficiencia *versus* costo sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales

“AMSA realiza las siguientes actividades de operación y mantenimiento anualmente, en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama):

- Limpieza de canales humedales
- Limpieza de la laguna facultativa
- Remoción de Jacinto de agua excesivo en laguna facultativa y humedales.
- Chapeo de tul en humedales
- Chapeo de áreas internas de la planta
- Protección y estabilización del área de relleno (propensa a erosión) de la parte final de la planta.
- Mantenimiento de la geomembrana y termosoldado
- Jardinización
- Mantenimiento del camino de acceso.

Estas operaciones de mantenimiento originan un costo anual de Q1 000 000,00”.²⁹

En los análisis de calidad de agua residual se determinó una eficiencia del 29,53 % en remoción de materia orgánica. Los primeros dos análisis en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) se realizaron sin aplicar los Microorganismos Efectivos (ME), estos se tomaron como base para la comparación de las eficiencias en remoción de materia orgánica.

En la siguiente gráfica se muestra la relación eficiencia *versus* costo de la planta de tratamiento de aguas residuales sin aplicar Microorganismos Efectivos (ME):

29. AMSA. *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Cristóbal*. Informe 2010.

Figura 21. **Esquema eficiencia *versus* costo sin aplicar
Microorganismos Efectivos (ME)**



Fuente: elaboración propia.

Obtener un 29,53 % de eficiencia en remoción de materia orgánica implica un gasto de Q1 000 000,00 anualmente.

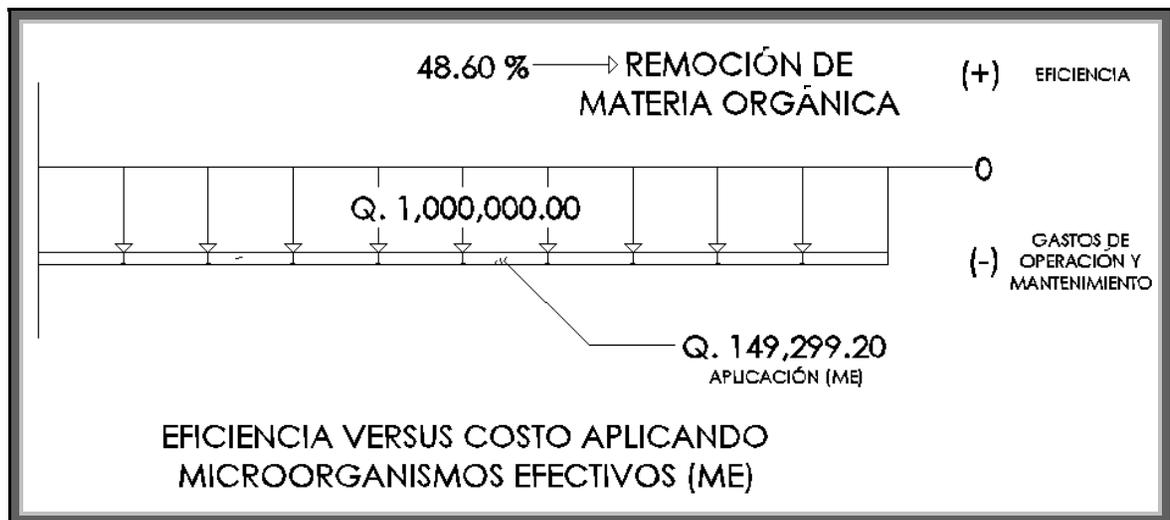
5.4.2. **Eficiencia *versus* costo aplicando Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales**

La aplicación de Microorganismos Efectivos (ME) a la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) implicaría un gasto anual de Q1 149 299,20, esto representa un 14,93 % del valor inicial de la operación y mantenimiento de dicha planta.

En los análisis de calidad de agua residual se determinó una eficiencia del 48,60 % en remoción de materia orgánica. Se realizaron ocho análisis en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aplicando los Microorganismos Efectivos (ME).

En la siguiente gráfica se muestra la relación eficiencia *versus* costo de la planta de tratamiento de aguas residuales aplicando Microorganismos Efectivos (ME):

Figura 22. **Esquema eficiencia *versus* costo aplicando Microorganismos Efectivos (ME)**



Fuente: elaboración propia.

Obtener un 48,60 % de eficiencia en remoción de materia orgánica implica un gasto de Q1 149 299,20 anualmente.

La eficiencia en remoción de materia orgánica para la planta de tratamiento de aguas residuales aumentó 19,07 % a un costo del 14,93 % del gasto anual de operación y mantenimiento de dicha planta; en la siguiente gráfica se puede observar dicha relación:

Figura 23. **Eficiencia versus costo**

$$\frac{\text{EFICIENCIA}}{\text{COSTO}} = \frac{19,07 \%}{14,93 \%} = 1,27$$

Fuente: elaboración propia.

El resultado obtenido es mayor que uno (>1), esto indica que el porcentaje de remoción de materia orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) es mayor al valor que se invertiría anualmente, por lo tanto, se puede concluir que es factible la implementación de Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual en dicha planta.

CONCLUSIONES

1. La implementación de Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) aumentó la eficiencia en remoción de materia orgánica de la planta en 19,07 %.
2. Al implementar los Microorganismos Efectivos (ME) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) se obtuvo hasta un 48,60 % en remoción de materia orgánica, por lo tanto no cumple con las expectativas de la hipótesis, esto se debe a que cuenta con un caudal excedente.
3. A la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán (AMSA), le implica un gasto de Q 12 441,60 / mensuales aplicar los Microorganismos Efectivos (ME) a las aguas residuales de la planta San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala.
4. Los parámetros fisicoquímicos no cumplen con el *Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos (Acuerdo Gubernativo No. 236-2006)*, aún aplicando los Microorganismos Efectivos (ME), por lo tanto, no cumple con las expectativas de la hipótesis.
5. El porcentaje de remoción de materia orgánica (19,07 %) en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama) es mayor al valor (14,93 %) que se invertiría anualmente, por lo tanto, es

factible la implementación de Microorganismos Efectivos (ME) al agua residual en dicha planta.

RECOMENDACIONES

1. La eficiencia aumentó en un 19,07 % y mientras no se adquiera el equipo electromecánico necesario o se construya un tratamiento paralelo de 4 lagunas facultativas del mismo tamaño de la existente, se deberá seguir aplicando los Microorganismos Efectivos (ME).
2. La buena operación y mantenimiento en este tipo de plantas es de suma importancia, esta necesita mantenimiento ya que algunos elementos como lo son el nitrógeno y fósforo, en lugar de ser removidos, estos se incrementan. En los humedales es necesario chapear el tul para que este pueda absorber los nutrientes y depurar la materia orgánica en las aguas residuales.
3. Hacer un estudio de factibilidad donde se evalúe el costo de los Microorganismos Efectivos (ME) *versus* la compra y mantenimiento respectivo del equipo electromecánico, es necesario para que la zanja de oxidación le de tratamiento al caudal que actualmente ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala.
4. Realizar pruebas de laboratorio en donde se utilice la dosis de Microorganismos Efectivos (ME) establecida; así como realizar pruebas en donde se aumente dicha dosis, para verificar con los resultados si la calidad de agua residual mejora o disminuye.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cooperación Técnica República Federal de Alemania. *Manual de disposición de aguas residuales*. Perú: CEPIS, 1058 p. Tom. II.
2. CRITES, Ron; TCHOBANOGLIOUS, George. *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Colombia: McGraw-Hill, 2000. 739 p.
3. Departamento de Sanidad del estado de New York. *Manual de tratamiento de aguas residuales*. Estados Unidos, Nueva York. 1964. 303 p.
4. FAIR, G.M.; GEYER, J.C.; OKUN, D.A. *Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales*. México, DF: Limusa, 1971. Vol. 2.
5. HIGA, Teruo. *Microorganismos Efectivos (en línea)*. <http://em-la.com>. [Consulta: septiembre de 2013.]
6. METCALF Y EDDY. *Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 1996. 1459 p. Tom. I y II.
7. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Acuerdo Gubernativo de Guatemala No. 236-2006.

8. MUCH SANTOS, Zenón. *Química y microbiología sanitaria; teoría biológica*. Curso de Maestría en Ingeniería Sanitaria, Guatemala: USAC, ERIS, 2005.

APÉNDICES

Resultados de Laboratorio

Eficiencia de la planta a los treinta días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 3 (10/08/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	2.2	0.01	99.55
DQO	mg/L	512	282	44.92
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8	8.6	-7.50
FÓSFORO TOTAL	mg/L	7.05	6.35	9.93
DBO ₅	mg/L	226	138	38.94
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	146	32	78.08
TEMPERATURA	T (°C)	25.8	25.3	
TURBIEDAD	NTU	117	69	41.03
COLOR		305	160	47.54
PH		7.345	7.12	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria,
Dra. Alba Tabarini Molina.

Eficiencia de la planta a los treinta y ocho días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 4 (18/08/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	2	0.01	99.50
DQO	mg/L	404	225	44.31
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	3	3.4	-13.33
FÓSFORO TOTAL	mg/L	8	5	37.50
DBO ₅	mg/L	201	126	37.31
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	134	23.5	82.46
TEMPERATURA	T (°C)	23.5	23.2	
TURBIEDAD	NTU	105	65.6	37.52
COLOR		260	155	40.38
PH		7.68	7.3	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Eficiencia de la planta a los cuarenta y cuatro días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 5 (24/08/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	1.2	0	100.00
DQO	mg/L	386	224	41.97
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8	8.3	-3.75
FÓSFORO TOTAL	mg/L	3.8	2.7	28.95
DBO ₅	mg/L	203	127	37.44
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	146	24.5	83.22
TEMPERATURA	T (°C)	23.8	23.1	
TURBIEDAD	NTU	66	40.5	38.64
COLOR		205	135	34.15
PH		7.05	6.9	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Eficiencia de la planta a los cincuenta y un días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 6 (31/08/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	1	0	100.00
DQO	mg/L	339	200	41.00
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	7.7	7.8	-1.30
FÓSFORO TOTAL	mg/L	5.5	4.5	18.18
DBO ₅	mg/L	273	144	47.25
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	170	29	82.94
TEMPERATURA	T (°C)	24.9	24.6	
TURBIEDAD	NTU	74.8	49.5	33.82
COLOR		200	130	35.00
PH		7.09	6.97	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Eficiencia de la planta a los cincuenta y ocho días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 7 (07/09/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	2.5	0.02	99.20
DQO	mg/L	340	198	41.76
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	5	6.4	-28.00
FÓSFORO TOTAL	mg/L	5.5	4.5	18.18
DBO ₅	mg/L	285	132	53.68
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	172	31	81.98
TEMPERATURA	T (°C)	25.8	25.8	
TURBIEDAD	NTU	73.1	43.9	39.95
COLOR		190	115	39.47
PH		7.06	7.12	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Eficiencia de la planta a los sesenta y cinco días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 8 (14/09/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	1.1	0	100.00
DQO	mg/L	386	211	45.34
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	10.9	14.2	-30.28
FÓSFORO TOTAL	mg/L	7.5	5.5	26.67
DBO ₅	mg/L	281	126	55.16
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	92	9	90.22
TEMPERATURA	T (°C)	24.9	24	
TURBIEDAD	NTU	86.8	54.3	37.44
COLOR		175	90	48.57
PH		7.37	7.07	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Eficiencia de la planta a los setenta y dos días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 9 (21/09/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	1.5	0	100.00
DQO	mg/L	447	193	56.82
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	9.6	12.3	-28.13
FÓSFORO TOTAL	mg/L	6.5	4.5	30.77
DBO ₅	mg/L	292	126	56.85
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	232	26	88.79
TEMPERATURA	T (°C)	24.7	24.2	
TURBIEDAD	NTU	76.1	35.9	52.83
COLOR		160	80	50.00
PH		7.59	7.25	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

Eficiencia de la planta a los setenta y nueve días después de iniciada la aplicación de Microorganismos Efectivos (ME)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 10 (28/09/2011)		
		Entrada	Salida	Eficiencia (%)
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	1	0	100.00
DQO	mg/L	389	178	54.24
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	7.8	8.9	-14.10
FÓSFORO TOTAL	mg/L	7.5	5	33.33
DBO ₅	mg/L	354	134	62.15
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	92	9	90.22
TEMPERATURA	T (°C)	25.3	24.6	
TURBIEDAD	NTU	75.8	30.7	59.50
COLOR		185	85	54.05
PH		7.11	7.02	

Fuente: elaboración propia en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Dra. Alba Tabarini Molina.

En las tablas anteriores se puede observar los parámetros evaluados en cada toma de muestra al agua residual después de aplicar Microorganismos Efectivos (ME), con su respectiva eficiencia que mostraba la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia Panorama), Mixco, Guatemala.

Comparación de resultados con normas

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 1)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 1 (09/06/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0.1	no normado	
DQO	mg/L	311	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	10.7	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	6.1	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	200	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	31	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	26.8	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	68.7	no normado	
COLOR		180	500.00	✓
PH		7.223	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 2)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 2 (15/06/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0.1	no normado	
DQO	mg/L	310	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	13.5	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	6.05	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	135	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	37	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	26.5	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	64.4	no normado	
COLOR		170	500.00	✓
PH		7.223	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 3)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 3 (10/08/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0.01	no normado	
DQO	mg/L	282	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8.6	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	6.35	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	138	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	32	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	25.3	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	69	no normado	
COLOR		160	500.00	✓
PH		7.12	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 4)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 4 (18/08/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0.01	no normado	
DQO	mg/L	225	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	3.4	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	5	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	126	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	23.5	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	23.2	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	65.6	no normado	
COLOR		155	500.00	✓
PH		7.3	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 5)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 5 (24/08/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0	no normado	
DQO	mg/L	224	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8.3	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	2.7	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	127	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	24.5	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	23.1	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	40.5	no normado	
COLOR		135	500.00	✓
PH		6.9	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 6)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 6 (31/08/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0	no normado	
DQO	mg/L	200	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	7.8	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	4.5	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	144	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	29	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	24.6	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	49.5	no normado	
COLOR		130	500.00	✓
PH		6.97	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 7)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 7 (07/09/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0.02	no normado	
DQO	mg/L	198	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	6.4	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	4.5	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	132	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	31	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	25.8	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	43.9	no normado	
COLOR		115	500.00	✓
PH		7.12	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 8)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 8 (14/09/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0	no normado	
DQO	mg/L	211	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	14.2	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	5.5	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	126	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	9	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	24	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	54.3	no normado	
COLOR		90	500.00	✓
PH		7.07	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 9)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 9 (21/09/2011)		
		Salida	Limite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0	no normado	
DQO	mg/L	193	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	12.3	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	4.5	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	126	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	26	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	24.2	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	35.9	no normado	
COLOR		80	500.00	✓
PH		7.25	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Comparación de resultados con la normativa (muestra No. 10)

Calidad de agua residual en planta de tratamiento San Cristóbal (colonia Panorama)		Muestra No. 10 (28/09/2011)		
		Salida	Límite máximo permisible cuarta etapa de cumplimiento, Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ml	0	no normado	
DQO	mg/L	178	no normado	
NITRÓGENO TOTAL	mg/L	8.9	20.00	✓
FÓSFORO TOTAL	mg/L	5	10.00	✓
DBO ₅	mg/L	134	100.00	✗
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	(mg/L)	9	100.00	✓
TEMPERATURA	T (°C)	24.6	18°C a 32°C	✓
TURBIEDAD	NTU	30.7	no normado	
COLOR		85	500.00	✓
PH		7.02	6 a 9	✓

Fuente: elaboración propia.

Fotografías

Calle planta de tratamiento



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Tubo de ingreso de agua residual a la PTAR



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Canal de rejas y desarenador



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Laguna facultativa, zona aeróbica - área norte



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Laguna facultativa, zona aeróbica - área sur



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Sedimentador secundario



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Sistema de humedales



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Salida de agua en humedales



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

Desfogue final



Fuente: Planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal.

