



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

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL  
COMPORTAMIENTO DE UNA ENZIMA BIODIGESTORA, EN UNA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
CARÁCTER FISICOQUÍMICO**

**Vivian Janisse Ramírez Carranza**

Asesorado por el Ing. Mario Pérez Archila

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL  
COMPORTAMIENTO DE UNA ENZIMA BIODIGESTORA, EN UNA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE  
CARÁCTER FÍSICOQUÍMICO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**VIVIAN JANISSE RAMÍREZ CARRANZA**  
ASESORADO POR EL ING. MARIO PÉREZ ARCHILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

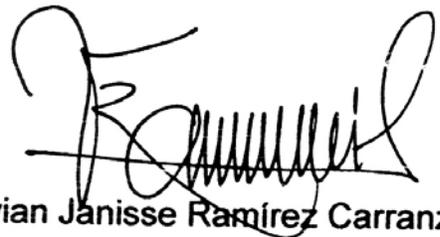
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raul de León de Páz
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADORA	Inga. Telma Maricela Cano Morales
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA ENZIMA BIODIGESTORA, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARÁCTER FISICOQUÍMICO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 9 de agosto de 2007.



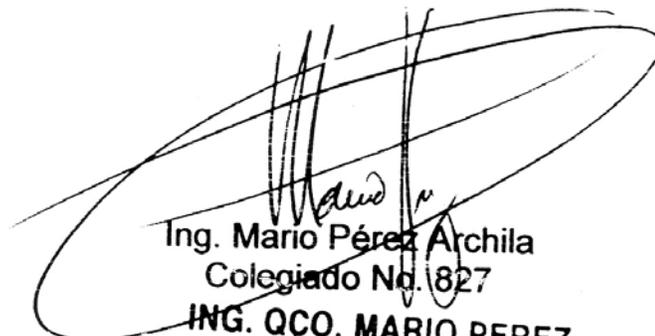
Vivian Janisse Ramírez Carranza

Guatemala, 28 de Agosto de 2008

Ing. Williams Álvarez Mejía  
Director de Escuela de Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente.

Por este medio hago de su conocimiento que he aprobado el trabajo de graduación titulado "ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA ENZIMA BIODIGESTORA EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARÁCTER FISICOQUÍMICO", realizado por la estudiante Vivian Janisse Ramírez Carranza, con carné 2000-10823 previo a optar al título de Ingeniero Químico, por lo que extiendo la presente a los veintiocho días del mes de agosto del año dos mil ocho.

Atentamente,



Ing. Mario Pérez Archila  
Colegiado No. 827  
**ING. QCO. MARIO PEREZ**  
COLEGIADO No. 827



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Guatemala, 2 de Octubre de 2008  
Ref. EI.Q.258.2008

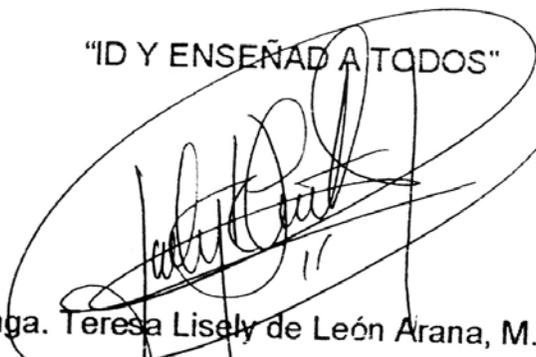
Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-077-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **VIVIAN JANISSE RAMÍREZ CARRANZA**, identificado con carné No. **2000-10823**, titulado: **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA ENZIMA BIODIGESTORA EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARÁCTER FÍSICOQUÍMICO**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Mario Pérez Archila como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Ramírez Carranza** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

**COORDINADORA**  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



**ESCUELA DE**  
**INGENIERIA QUIMICA**



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

---

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación de la estudiante **Vivian Janisse Ramírez Carranza** titulado: **“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA ENZIMA BIODIGESTORA, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARÁCTER FISICOQUÍMICO”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, octubre de 2,008

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

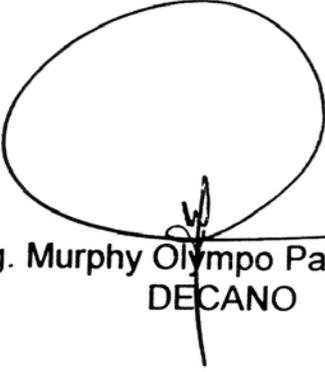


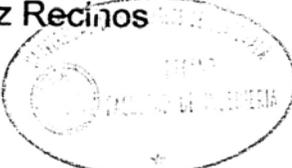
Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG. 362.2008

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA ENZIMA BIODIGESTORA, EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARÁCTER FISICOQUÍMICO**, presentado por la estudiante universitaria **Vivian Janisse Ramírez Carranza**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, octubre de 2008

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Fuente de toda sabiduría, dador y salvador de mi vida.
- Mis Padres** José Ramírez y Vivian Carranza de Ramírez, gracias por el esfuerzo, motivación, apoyo, amor y paciencia que me han brindado; por haberme dado la oportunidad de alcanzar hoy uno de mis sueños más grandes. Los amo.
- Mi hermano** José David, gracias por ser mi cómplice y mi mejor amigo, por estar conmigo siempre, te quiero mucho.
- Ever** Gracias amor porque desde que nos conocimos tu me has brindado tu cariño sin condición, y por ser mi amigo, consejero y apoyo en todo momento.
- Mis abuelitas** Argelia Bazini y Marina de Ramírez, gracias por el cariño y amor que siempre me han dado.
- Mis tíos y primos** Por estar siempre pendientes de mi, por apoyarme en mis actividades incondicionalmente.
- Mis amigos** Por estar conmigo en momentos malos y buenos, los admiro y los respeto, siempre los voy a llevar en mi corazón.
- Guatemala** País al que amo y deseo con el alma algún día ver que este trabajo de graduación haya contribuido en el mejoramiento de sus mantos acuíferos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Las Familias Jordán Ramírez, Cardona Salguero** Por haberme apoyado incondicionalmente. Dios les bendiga.

**Frito Lay Central America** Por abrirme las puertas de sus instalaciones para realizar mis prácticas laborales y por permitirme realizar este trabajo de graduación.

**Departamento de mantenimiento de Frito Lay Central America** Por su amistad, cariño e incondicional apoyo a mi persona.

**Los ingenieros Carlos Molina y Manolo Martínez** Por hacer que este trabajo de graduación fuese una realidad.

**Ing. Mario Pérez** Por su valiosa asesoría para la realización de este trabajo.

**Personal operativo de Planta de Tratamiento** Gracias por el apoyo que me brindaron, sin ustedes este trabajo no se hubiese realizado.

**La Escuela de Ingeniería Química** Por ser el semillero de profesionales que deseamos sacar adelante a Guatemala.

**La Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser el alma Mater en educación.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XIX</b>
<b>1. AGUAS RESIDUALES</b>	
1.1 Agua Residual.....	1
1.1.1 Tipos de aguas residuales.....	2
1.1.2 Aguas residuales ordinarias.....	2
1.1.3 Aguas residuales especiales.....	3
1.2 Tipos de contaminantes.....	4
1.2.1 Clasificación de los contaminantes.....	4
1.2.2 Contaminantes orgánicos.....	4
1.2.3 Contaminantes inorgánicos.....	5
1.3 Tipos de contaminación.....	6
1.3.1 Contaminantes habituales en las aguas residuales.....	7
1.3.1.1 Arenas.....	7
1.3.1.2 Grasas y aceites.....	7
1.3.1.3 Residuos con requerimiento de oxígeno.....	8
1.3.1.4 Nitrógeno y fósforo.....	8
1.3.1.5 Agentes patógenos.....	8
1.3.1.6 Otros contaminantes específicos.....	9
1.4 Métodos analíticos para el control de la calidad del agua.....	9
1.4.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	9
1.4.2 Demanda Química de Oxígeno.....	9
1.4.3 Grasas y aceites.....	10
1.4.4 Temperatura.....	10
1.4.5 Color.....	10

1.4.6 Olor.....	11
1.4.7 Turbidez.....	11
1.4.8 pH.....	12
1.4.9 Acidez y alcalinidad.....	12
1.4.10 Sólidos.....	12
1.4.10.1 Sólidos en suspensión.....	12
1.4.10.2 Sólidos disueltos.....	13
1.4.10.3 Sólidos Sedimentables.....	13
1.4.10.4 Sólidos Totales.....	13
1.4.11 Acidez de un agua residual.....	14
<b>2. EZIMAS</b>	
2.1 Morfología.....	15
2.2 Actividad Enzimática.....	16
2.2.1 Preparación de las enzimas para la determinación de su actividad.....	16
2.2.2 Tiempo de incubación.....	16
2.2.3 Concentración de la enzima.....	17
2.2.4 Efecto del pH.....	18
2.2.5 Efecto de la Temperatura.....	19
2.5 Enzimas de Tratamiento.....	20
2.5.1 Propiedades Fisicoquímicas.....	21
2.5.2 Estabilidad y Reactividad Química.....	22
2.5.3 Identificación de riesgos.....	22
2.5.4 Información ecológica.....	23
2.5.5 Consideraciones sobre disposición final.....	23
<b>3. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE LA ENZIMA BIODIGESTORA</b>	
3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales.....	25
3.2 Caracterización actual del agua con tratamiento fisicoquímico.....	25
3.3 Contaminantes a degradar con la aplicación de la enzima.....	25

3.4 Condiciones de operación de la Planta de tratamiento de aguas residuales de carácter fisicoquímico .....	25
<b>4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b>	
4.1 Sólidos suspendidos totales (Método 2540 D Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual) .....	29
4.2 Sólidos sedimentables (Método 2540 F Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual) .....	29
4.3 Sólidos disueltos (Método 2540 C Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual) .....	30
4.4 Grasas y aceites (Método 5520 D Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual) .....	30
4.5 Turbidez (Método 2130 B Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual) .....	31
4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Método 5220 C Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual) .....	31
4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Método 5210 B Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual) .....	32
4.8 Recursos utilizados	32
4.8.1 Factor tiempo.....	33
4.8.2 Recursos económicos.....	33
4.8.3 Recursos técnicos.....	33
4.8.4 Capital humano.....	34
<b>5. IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE LA ENZIMA BIODIGESTORA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL</b>	
5.1 Análisis de la preparación de la concentración óptima de la enzima Biodigestora.....	35
5.2 Resultados obtenidos con la aplicación de la Enzima Biodigestora.....	40

5.3 Sólidos en Suspensión.....	43
5.4 Sólidos Disueltos.....	45
5.5 Sólidos Sedimentables.....	47
5.6 Grasas y Aceites.....	49
5.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	51
5.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	53
5.9 pH.....	55
5.10 Olor. ....	57
5.11 Análisis de los Resultados.....	58
5.11.1 Sólidos.....	58
5.11.2 Grasas y Aceites.....	58
5.11.3 Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno.....	59
5.11.4 pH.....	59
5.11.5 Temperatura.....	60
5.11.6 Olor. ....	60
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>67</b>
<b>APÉNDICE.....</b>	<b>71</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Efecto de la concentración sobre la actividad enzimática	17
2	Efecto del pH sobre la actividad enzimática	18
3	Efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática	19
4	Diagrama de flujo del proceso de las Enzimas para la Descomposición de Desechos Orgánicos	24
5	Diagrama de proceso planta de tratamiento	27
6	Comportamiento de la concentración de la enzima biodigestora en función del sustrato	36
7	Diagrama de bloques del sistema de tratamiento de agua residual con adición de la enzima biodigestora	39
8	Modelo de formato para la recopilación de datos de análisis de agua residual	42
9	Relación entrada y salida de sólidos en suspensión	44
10	Relación entrada y salida de sólidos disueltos	46
11	Relación entrada y salida de sólidos sedimentables	48
12	Relación entrada y salida de grasas y aceites	50
13	Relación entrada y salida de Demanda Química de Oxígeno (DQO)	52
14	Relación entrada y salida de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	54
15	Resultados de pH	56
16	Resultado de la encuesta realizada a una población de colaboradores sobre su opinión en la disminución del mal olor en la Planta de tratamiento de aguas residuales y sus alrededores	57

## TABLAS

I	Especificaciones Fisicoquímicas	21
II	Especificaciones de Reactividad Química	22
III	Tratamiento realizado actualmente al agua residual	28
IV	Resultados obtenidos con las pruebas de jarras realizadas para la determinación de la concentración óptima de la enzima biodigestora	37
V	Caracterización de agua del efluente previo al tratamiento enzimático	40
VI	Resultados de sólidos en suspensión	43
VII	Resultados de sólidos disueltos	45
VIII	Resultado de sólidos sedimentables	47
IX	Resultados de grasas y aceites	49
X	Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO)	51
XI	Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	53
XII	Resultados de pH	55
XIII	Modelo de Reducción del mal olor generado por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.	61
XIV	Modelo de Reducción progresiva de Demanda Bioquímica de Oxígeno para descargas al alcantarillado público, para entes generadores ya existentes.	69

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
mg	Miligramos
L	Litros
mg/l	Concentración en miligramos por litro
pH	Potencial de hidrógeno
°C	Grados Celsius
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
G	Gramos
<	Menor que
>	Mayor que
%	Porcentaje
ml	Mililitros
ppm	Partes por millón
±	Mas-Menos
N	Normalidad
M	Molaridad
M	Molalidad
=	Igual a
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos



## **GLOSARIO**

<b>Acidez</b>	Capacidad de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo.
<b>Acidez de un agua residual</b>	Se debe a la presencia de ciertos ácidos minerales y/u orgánicos o a la hidrólisis sufrida por la existencia de sales de ácidos fuertes y bases débiles. Puede causar acción corrosiva en las instalaciones, por la acción del catión hidrógeno.
<b>Afluente</b>	Agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o algún proceso de tratamiento.
<b>Aguas residuales</b>	Agua que contiene material disuelto y en suspensión, luego de ser usada por una comunidad o industria.
<b>Alcantarillado público</b>	Conjunto de tuberías y obras accesorias utilizadas por la municipalidad, para recolectar y conducir las aguas residuales de tipo ordinario o especial, o combinación de ambas que deben ser previamente tratadas antes de descargarlas a un cuerpo receptor.
<b>Análisis</b>	Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

<b>Coagulación</b>	Proceso químico que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación.
<b>Coloide</b>	Son las partículas de muy bajo diámetro que son responsables de la turbidez o del color del agua superficial.
<b>Concentración</b>	Es la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</b>	Cantidad de oxígeno consumido por los gérmenes aerobios para asegurar la descomposición dentro de condiciones bien especificadas de las materias orgánicas contenidas en el agua a analizar.
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	Cantidad de oxígeno expresado en mg/l consumido por las materias oxidables en las condiciones de ensayo contenidas en 1 litro de agua.
<b>Digestión</b>	Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.
<b>Disposición final</b>	Disposición del efluente de una planta de tratamiento o de lodos tratados.
<b>Eficiencia de tratamiento</b>	Relación entre la masa o concentración

removida y la masa o concentración en el efluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

**Efluente**

Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

**Enzima**

Proteínas altamente especializadas que tienen como función la catálisis o regulación de la velocidad de las reacciones químicas que se llevan a cabo en los seres vivos.

**Floculación**

Proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutina las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

**Floculante**

Es un químico mediante el cual, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua.

**Grados Celsius**

Unidad de la escala de temperatura definida °C

**Grasas y aceites**

Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como solvente.

<b>Hexano</b>	Líquido flamable utilizado como solvente.
<b>Lodos</b>	Los sólidos con contenido variable de humedad provenientes del tratamiento de aguas residuales.
<b>Muestra puntual</b>	Muestra de agua tomada al azar en un momento determinado para su análisis.
<b>pH</b>	Es la medida de la concentración de iones de hidrógeno, o en su defecto los iones hidroxilo.
<b>Poli electrolito</b>	Polímero con grupos iónicos.
<b>Polímero</b>	Repetidas unidades conectadas entre si para construir una macromolécula.
<b>Sólidos disueltos</b>	Están relacionados con el grado de mineralización del agua, ya que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver en su paso.
<b>Sólidos en suspensión total</b>	Se mantienen en el agua debido a su naturaleza coloidal que viene dada por las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua.
<b>Sólidos sedimentables</b>	Materia sólida que sedimenta en un período de

una hora.

**Sólidos totales**

Son los materiales suspendidos y disueltos en el agua.

**Tratamiento primario**

Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual, hecha normalmente por la sedimentación.

**Turbidez**

Grado de opacidad producido en el agua por la presencia de partículas en suspensión.



## RESUMEN

El desarrollo de este trabajo de investigación está basado en la evaluación de la mejora que puede realizar una enzima Biodigestora utilizada en una planta de tratamiento de aguas residuales de carácter fisicoquímico con la finalidad de obtener una reducción de mal olor, DBO, DQO, Sólidos sedimentables, suspendidos, disueltos, grasas y aceites, ya que las aguas residuales constituyen un foco de contaminación en los sistemas hídricos del país.

En el capítulo uno y dos se explica qué es el agua residual, cuáles son los contaminantes que se medirán y las características de la enzima Biodigestora que se implemento.

En el capítulo tres y cuatro se determinó la metodología de aplicación y de análisis químico y fisicoquímico que se utilizó para obtener los resultados y comparar la eficiencia que se provee a la planta de tratamiento de aguas residuales con la aplicación de una enzima Biodigestora en el sistema de tratamiento fisicoquímico.

En el capítulo cinco se pueden observar los resultados obtenidos en el trabajo de investigación como lo fue la disminución de 53.32% en la DBO, 38.58% para la DQO, 78.40% para grasas y aceites, 89.22% en sólidos suspendidos, 99.96% en sólidos sedimentables y 29.53% en sólidos disueltos. Con los resultados obtenidos en la investigación se pudo observar que hay una disminución de más del 10%, lo cual cumple el objetivo de disminuir todos los parámetros con alto grado de complejidad y contaminación, esto con el fin de ajustarse al Acuerdo Gubernativo 236-2006 instituido para todo el sector industrial de la República de Guatemala.



## **OBJETIVOS**

### **General:**

- Evaluar el tratamiento del agua residual de tipo especial, por medio de una enzima biodigestora adicionada al tanque de equalización de la planta de tratamiento de agua residual de carácter fisicoquímico en una industria de alimentos.

### **Específicos:**

1. Disminuir un 10% los parámetros actuales de Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, grasas y aceites, mal olor, sólidos sedimentables, en suspensión disueltos y totales de las aguas residuales descargados hasta el momento.
2. Reducir el riesgo de contaminación de los cuerpos receptores de agua.
3. Cumplir con la legislación guatemalteca con la meta propuesta a 5 años descrita en el Artículo 26 del Reglamento de Descarga y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006.
4. Mejorar la calidad del tratamiento polielectrolítico efectuado actualmente al agua residual.



## INTRODUCCIÓN

El agua pasa a formar parte de las materias primas en la mayoría de los procesos en la industria de alimentos, ya que interviene en el proceso productivo; pero no siempre termina en el producto final sino que llega a ser un ente residual de la producción que totalmente es desechada, y hace necesario realizar un tratamiento que forma parte del costo de producción de una empresa, lo cual muchas veces no es tomado en cuenta; y actualmente en Guatemala como en el resto de países del mundo existen problemas con la cantidad de agua desechada por las industrias.

Cualquier cambio químico, físico o biológico respecto a un nivel base natural constituye un fenómeno de contaminación. Las aguas residuales contaminadas, son las que han perdido su calidad como resultado de su uso en una o diversas actividades. Constituyen un importante foco de contaminación de los sistemas acuáticos, observando así la necesidad de los sistemas de depuración antes de ser descargadas, como medida importante para la conservación de dichos sistemas.

En la evaluación realizada, se planteó una alternativa para el tratamiento de aguas residuales de tipo especial mediante una enzima biodigestora, la cual disminuyó parámetros como Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos en suspensión, sedimentables, disueltos y totales, así como grasas y aceites y la emanación de mal olor, desechados por una planta de tratamiento de aguas residuales de carácter fisicoquímico en la cual es tratada el agua proveniente del proceso de manufactura de frituras de maíz, papa, sémola y extruídos, habiendo sido su finalidad la obtención de una mejor calidad del efluente industrial lográndose así alcanzar las soluciones del mejoramiento continuo del ambiente.



# 1. AGUAS RESIDUALES

## 1.1 Agua residual

La contaminación actúa sobre el medio ambiente acuático alterando el delicado equilibrio de los diversos ecosistemas integrado por organismos productores, consumidores y descomponedores que interactúan con componentes sin vida originando un intercambio cíclico de materiales.

Aunque el hombre no es un ser acuático, ha llegado a depender intensamente del medio ambiente acuático para satisfacer sus necesidades tecnológicas y sociales.

El hombre continúa utilizando el agua con su contaminación. Es difícil eliminar los contaminantes y si el agua original tiene gran proporción de minerales, el problema se complica.

No se pretende afirmar que antes de llegar el hombre con su tecnología, el agua era pura. Aún después de la aparición del hombre, transcurrieron muchos años antes que hubiera ningún cambio en el ambiente. Cuando las poblaciones empezaron a verter sus desechos en ríos y lagos fue cuando las aguas se deterioraron.

Las aguas residuales constituyen un importante foco de contaminación de los sistemas acuáticos, siendo necesarios los sistemas de depuración antes de evacuarlas, como medida importante para la conservación de dichos sistemas.

Las aguas residuales, contaminadas, son las que han perdido su calidad como resultado de su uso en diversas actividades. También se denominan

vertidos. Se trata de aguas con un alto contenido en elementos contaminantes, que a su vez van a contaminar aquellos sistemas en los que son evacuadas.

Del total de vertido generado por los focos de contaminación, sólo una parte será recogida en redes de saneamiento, mientras que el resto será evacuado a sistemas naturales directamente.

### **1.1.1 Tipos de aguas residuales**

La clasificación se hace con respecto a su origen, ya que este origen es el que va a determinar su composición.

### **1.1.2 Aguas residuales ordinarias**

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos.

Los aportes que generan esta agua son:

- aguas negras o fecales
- aguas de lavado doméstico
- aguas de limpieza de calles
- aguas de lluvia y lixiviados

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los

mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc.

### **1.1.3 Aguas residuales especiales**

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos no sólo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día.

Son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

## **1.2 Tipos de Contaminantes**

Actualmente, la contaminación de los cauces naturales tiene su origen entres fuentes:

- vertidos urbanos (ordinarios)
- vertidos industriales (especiales)
- contaminación difusa (lluvias, lixiviados, etc.)

### **1.2.1 Clasificación de los contaminantes**

Las sustancias contaminantes que pueden aparecer en un agua residual son muchas y diversas.

### **1.2.2 Contaminantes orgánicos**

Son compuestos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y vetados generados en la industria agroalimentaria.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son:

- Proteínas: proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- Carbohidratos: incluimos en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- Aceites y grasas: altamente estables, inmiscibles con el agua, procedentes de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.
- Otros: incluiremos varios tipos de compuestos, como los tensoactivos, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad.

### **1.2.3 Contaminantes inorgánicos**

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc.

Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industrial

Los componentes inorgánicos de las aguas residuales estarán en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

### 1.3 Tipos de contaminación

Se clasifican según el factor ecológico que altere, aunque suelen afectar a más de un factor.

- Contaminación física

Las sustancias que modifican factores físicos, pueden no ser tóxicas en sí mismas, pero modifican las características físicas del agua y afectan a la biota acuática.

- Sólidos en suspensión, turbidez y color
- Agentes tensoactivos
- Temperatura
- Contaminación química

Algunos efluentes cambian la concentración de los componentes químicos naturales del agua causando niveles anormales de los mismos. Otros, generalmente de tipo industrial, introducen sustancias extrañas al medio ambiente acuático, muchos de los cuales pueden actuar en detrimento de los organismos acuáticos y de la calidad del agua en general. En este sentido es en el que puede hablarse propiamente de contaminación.

- Salinidad
- pH
- Sustancias marcadamente tóxicas
- Desoxigenación

- Contaminación por agentes bióticos.

Son los efectos de la descarga de material biogénico, que cambia la disponibilidad de nutrientes del agua, y por tanto, el balance de especies que pueden subsistir. El aumento de materia orgánica origina el crecimiento de especies heterótrofas en el ecosistema, que a su vez provoca cambios en las cadenas alimentarias.

Un aumento en la concentración de nutrientes provoca el desarrollo de organismos productores, lo que también modifica el equilibrio del ecosistema.

### **1.3.1 Contaminantes habituales en las aguas residuales**

#### **1.3.1.1 Arenas**

Entendemos como tales una serie de particular de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

#### **1.3.1.2 Grasas y aceites**

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas

y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

#### **1.3.1.3 Residuos con requerimiento de oxígeno**

Son compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que sufren fácilmente y de forma natural procesos de oxidación, que se van a llevar a cabo con u con sumo de oxígenos del medio. Estas oxidaciones van a realizarse bien por vía química o bien por vía biológica.

#### **1.3.1.4 Nitrógeno y fósforo**

Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

#### **1.3.1.5 Agentes patógenos**

Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades.

### **1.3.1.6 Otros contaminantes específicos**

Incluimos sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.

## **1.4 Métodos analíticos para el control de la calidad del agua**

### **1.4.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La D.B.O. representa la cantidad de oxígeno consumido por los gérmenes aerobios para asegurar la descomposición dentro de condiciones bien especificadas de las materias orgánicas contenidas en el agua a analizar. El fundamento del método, consiste en medir la cantidad de O<sub>2</sub> disuelto en un medio de incubación al comienzo y al final de un período de 5 días, durante el cual la muestra es mantenida al abrigo del aire, a 20° C, y en la oscuridad para inhibir la eventual formación de O<sub>2</sub> por las algas.

### **1.4.2 Demanda Química de Oxígeno**

La DQO Se define como la cantidad de oxígeno expresado en mg/l. consumido por las materias oxidables en las condiciones de ensayo, contenidas en 1 litro de agua. Se simboliza DQO.

Esta determinación, no representa lo que realmente ocurre en la naturaleza y por sobre todo no hace una distinción entre sustancias biodegradables y no

degradables. Tal el caso de la celulosa que es demolida biológicamente sólo con notable lentitud, pero que, oxidada por medio del dicromato, es destruida en corto lapso. La inversa también ocurre, algunos compuestos carbonados son destruidos por las bacterias y no son oxidados por el reactivo (caso de algunos alcoholes y ácidos). Se ha buscado un tipo de oxidante que dé un índice sobre el grado de contaminación de un efluente, Bicromato de potasio. Este último ha sido elegido para oxidar el alto contenido de materia orgánica en los efluentes provenientes de las descargas de la industria alimentaria.

#### **1.4.3 Grasas y aceites**

Las grasas Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como disolvente.

#### **1.4.4 Temperatura**

La temperatura ha de medirse con un termómetro de precisión graduado en décimas de grado. La lectura se hace desusé de una inmersión de diez minutos. Si no es posible realizar la operación directamente, puede tomarse un volumen de agua entre 5 y 10 litros e introducir el termómetro inmediatamente.

#### **1.4.5 Color**

La coloración de un agua puede clasificarse en verdadera o real cuando se debe sólo a las sustancias que tiene en solución, y aparente cuando su color es

debido a las sustancias que tiene en suspensión. Los colores real y aparente son casi idénticos en el agua clara y en aguas de escasa turbidez.

La coloración de un agua se compara con la de soluciones de referencia de platino-cobalto en tubos colorimétricos, o bien con discos de vidrio coloreados calibrados según los patrones mencionados.

#### **1.4.6 Olor**

El olor puede ser definido como el conjunto de sensaciones percibidas por el olfato al captar ciertas sustancias volátiles. El procedimiento normalmente utilizado es el de ir diluyendo el agua e examinar hasta que o presente ningún olor perceptible. El resultado se da como un número que expresa el límite de percepción del olor, y corresponde a la dilución que da olor perceptible. Debido al carácter subjetivo de la medida, es recomendable que la medida la realicen al menos dos personas distintas, comparando la percepción con la de un agua desodorizada. Debe evitarse, como es lógico, en todo lo posible, la presencia de otros olores en el ambiente.

#### **1.4.7 Turbidez**

La turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas. La determinación de la turbidez tiene un gran interés como parámetro de control en aguas contaminadas y residuales. Se puede evaluar en el campo o en el laboratorio.

### **1.4.8 pH**

Las medidas de pH se realizan con un electrodo de vidrio, el cual genera un potencial que varía linealmente con el pH de la solución en la que está inmerso. El electrodo consiste en una célula con un potencial controlado por la actividad del protón a cada lado de una membrana de vidrio muy fina.

Este método se utiliza si se quiere obtener medidas muy precisas y puede aplicarse a cualquier caso particular.

### **1.4.9 Acidez y alcalinidad**

La acidez de un agua corresponde a la presencia de anhídrido carbónico libre, ácidos minerales y sales de ácidos fuertes y bases débiles.

La alcalinidad de un agua corresponde a la presencia de los bicarbonatos, carbonatos de hidróxidos.

### **1.4.10 Sólidos**

#### **1.4.10.1 Sólidos en suspensión**

Sólidos insolubles que flotan en la superficie de, o están en suspensión en el agua, las aguas residuales u otros líquidos.

Partículas sólidas orgánicas o inorgánicas (dispersas, coaguladas o floculadas) mantenidas físicamente en suspensión por agitación o flujo.

Cantidad de material removido de las aguas residuales en un ensayo de laboratorio, conocido como residuo no filtrable.

#### **1.4.10.2 Sólidos disueltos**

Son aquellos determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.

#### **1.4.10.3 Sólidos sedimentables**

Son aquellos Sólidos Suspendidos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff), en un tiempo fijado por ejemplo en 10 minutos o en 2 horas. Constituyen una medida aproximada de la cantidad de barro que se obtendrá en el proceso de decantación

#### **1.4.10.4 Sólidos totales**

Son los materiales suspendidos y disueltos en un agua. Se obtienen después de someter al agua a un proceso de evaporación a temperaturas comprendidas entre 103 y 105°C. La porción filtrable representa a los Sólidos Coloidales Totales Disueltos y la no filtrable son los Sólidos Totales en Suspensión.

### **1.4.11 Acidez de un agua residual**

Se debe a la presencia de ciertos ácidos minerales y orgánicos, o a la hidrólisis sufrida por la existencia de sales de ácidos fuertes y bases débiles. Puede causar acción corrosiva en las instalaciones, por la acción del catión hidrógeno.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> La información de este capítulo se obtuvo de la página <http://www.apuntes/aguasresiduales.html>

## 2. EZIMAS

### 2.1 Morfología

Las enzimas son proteínas construidas para catalizar reacciones de otros compuestos. Se unen a compuestos específicos de forma parecida a como los hacen otras proteínas. Sin embargo, las enzimas difieren de las otras proteínas en que el complejo del compuesto unido y la proteína pueden adoptar una configuración nueva, cuando abandona la enzima. Entonces la enzima revierte a su forma original. Precisamente por esta capacidad de catalizar las miles de reacciones químicas que tienen lugar en los seres vivos las enzimas tienen una importancia especial dentro del campo de las proteínas. No hay nada de misterios en las enzimas ni en la forma de catalizar las reacciones. Se componen de los mismos 20 aminoácidos que se encuentran en las otras proteínas, y adoptan formas características fijadas por la secuencia de los aminoácidos. Como en el resto de las proteínas, la molécula puede estar formada por trozos de hélice  $\alpha$ , de hojas plegadas paralelas o antiparalelas, o de secuencias al azar.

Una de las propiedades fundamentales de las enzimas en relación con su actividad catalítica es su especificidad. Esta es una consecuencia de la afinidad de la enzima por su sustrato, que resulta en la acomodación del mismo en su sitio activo. En efecto, dada esta situación, es lógico esperar que no cualquier sustancia que se encuentre en presencia de la enzima vaya a poder entrar al sitio activo. Esta propiedad de actuar solo sobre su sustrato se refiere a la especificidad de las enzimas.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>La referencia fue tomada de la página  
<http://laguna.fmedic.unam.mx/~evazquez/0403/velocidad%20reaccion%20enzimatica.html>

## **2.2 Actividad enzimática**

Los parámetros y propiedades de las enzimas son de importancia fundamental para entender el funcionamiento de los sistemas enzimáticos dentro del sistema.

### **2.2.1 Preparación de las enzimas para la determinación de su actividad**

Para medir la actividad de una enzima es necesario, desde luego, partir de un tejido o material que la contenga. Lo que generalmente se hace romper todas las células, del tejido mediante diversos procedimientos en un medio líquido, a una temperatura de 0 a 4°C con objeto de evitar la desnaturalización de las proteínas. A este proceso se le llama homogenización, y al licuado resultante homogeizama. A partir del homogeneizado es posible separar partículas subnucleares, purificar las proteínas y purificar las enzimas. De todos modos, en cualquier tipo de preparación enzimática que se use, se mide su actividad de igual forma.

### **2.2.2 Tiempo de incubación**

La manera más usual de medir la actividad de una enzima es incubar la preparación enzimática, generalmente a 37°C, por períodos variables de tiempo, y medir el producto de la reacción enzimática en un tiempo dado. Si la reacción es lineal en el tiempo, hasta un período determinado, se puede expresar la actividad enzimática en términos de velocidad, o sea la cantidad de producto formado por unidad de tiempo. La velocidad de la reacción se expresa generalmente como

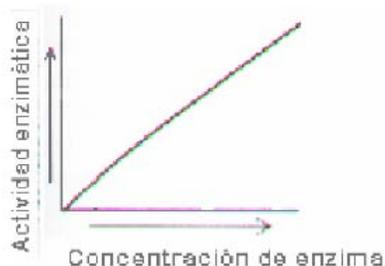
micromolas de producto formado por minuto, aunque cualquier otra expresión es correcta si los valores se toman dentro de la linealidad de la reacción.

Las razones que al graficar los datos no sean indefinidamente lineales son varias. Una es, luego que la reacción haya alcanzado su equilibrio, es decir, que el sustrato se haya agotado para formar más producto. La segunda razón es que la enzima siendo una proteína, empiece a desnaturalizarse al cabo de cierto tiempo, y por lo tanto pierda su actividad. Una tercera razón es que el producto de la reacción tenga un efecto inhibitor sobre la actividad. Una tercera razón es que el producto de la reacción un efecto inhibitor sobre la actividad de la enzima, de modo que esta disminuye cuando el producto llega a cierta concentración.

### 2.2.3 Concentración de la enzima

La velocidad de una reacción es proporcional a la concentración de la enzima. Por lo tanto, si el sustrato se encuentra siempre en concentraciones saturantes, y medimos la velocidad de la reacción a distintas concentraciones de la enzima, obtendremos una dispersión de puntos lineales.

**Figura 1.** Efecto de la concentración sobre la actividad enzimática.

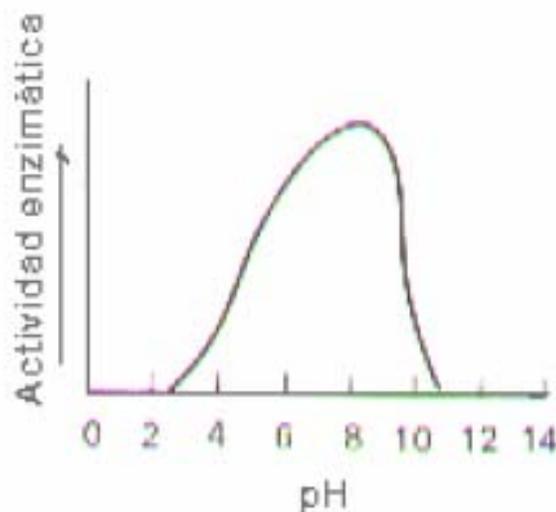


FUENTE: [www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm](http://www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm)

### 2.2.4 Efecto del pH

Si tomamos en cuenta que las enzimas son proteínas, y por lo tanto polielectrolitos, no será difícil de entender que el pH tiene un efecto muy importante sobre la velocidad de las reacciones enzimáticas. Se ha señalado que la carga neta de una proteína varía con el pH. Por esta razón, a cierto pH las cargas de los residuos de los aminoácidos que participan en el sitio activo están en condiciones óptimas para la actividad catalítica sobre el sustrato correspondiente. Por lo tanto, a ese pH la velocidad de la reacción será máxima. A ese pH le llamamos pH óptimo de la enzima. Por supuesto, en valores de pH demasiado ácidos o alcalinos, no solamente podrá estar modificado el sitio activo, sino que la estructura terciaria de toda la molécula se encontrará alterada, y no habrá actividad enzimática.

**Figura 2.** Efecto del pH sobre la actividad enzimática.

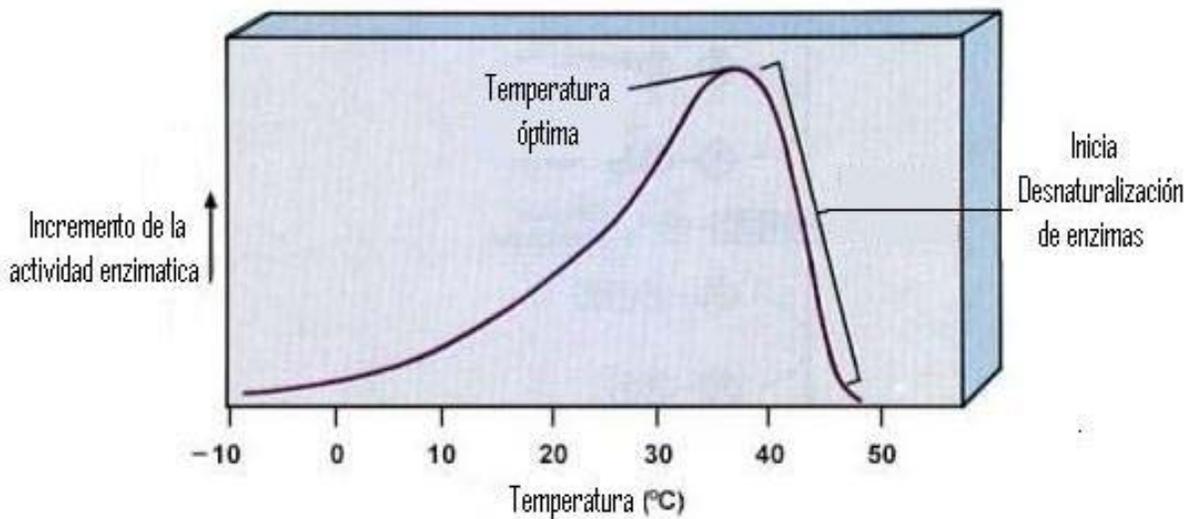


FUENTE: [www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm](http://www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm)

### 2.2.5 Efecto de la temperatura

Es bien conocido el hecho de que al aumentar la temperatura aumenta la energía cinética de las moléculas reaccionantes, y por consiguiente es mayor la probabilidad de que ocurran colisiones efectivas para que la reacción se lleve a cabo. Como las reacciones enzimáticas no son una excepción a esta regla, su velocidad aumenta con la temperatura. Pero cuando la temperatura llega a cierto valor variable según la enzima de que se trate esta empieza a desnaturalizarse y la velocidad de la reacción comienza a disminuir.<sup>3</sup>

**Figura 3.** Efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática.



FUENTE: [www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm](http://www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm)

<sup>3</sup> La referencia fue tomada de la página [http://docencia.udea.edu.co/bacteriologia/MicrobiologiaAmbiental/microbiologia\\_3.pdf](http://docencia.udea.edu.co/bacteriologia/MicrobiologiaAmbiental/microbiologia_3.pdf)

## **2.5 Enzimas de Tratamiento**

Las enzimas son un material biológico activo que contiene billones de bacterias. Esta especialmente formulado para uso en la industria y para tratamientos de plantas de basura municipal, lagunas artificiales, trampas de grasa, fosas sépticas, drenajes de lavanderías, baños, etc.

Las ventajas que presenta es que es efectivo sobre materiales orgánicos sólidos y líquidos, trabaja de manera permanente una vez iniciado el tratamiento; es económico, una vez controlado el sistema el mantenimiento es regular y efectivo; no contiene bacterias patógenas.

## 2.5.1 Propiedades Fisicoquímicas

**Tabla I.** Especificaciones Fisicoquímicas

Descripción	Enzimas Biodigestoras
Estado Físico	sólido
Color	Característico
Densidad Relativa	1.05 g/cm <sup>3</sup>
pH	7.0
Presión de Vapor	No disponible
Solubilidad en agua	Totalmente soluble
Punto de ebullición	No disponible
Punto de inflamación	No tiene
Explosividad	No explosivo
Corrosivo	No es corrosivo
Viscosidad	No disponible
Composición sobre ingredientes	Enzimas Biodigestoras compuestas de: Amilaza, Celulaza, Hemicelulaza, Lipaza y material inerte c.s.p.

FUENTE: Información técnica, Claisen, S.A.

## 2.5.2 Estabilidad y Reactividad Química

**Tabla II.** Especificaciones de Reactividad Química

Estabilidad Química	Estable, evitar almacenarlo en condiciones extremas de temperatura (>35 °C) y la exposición directa a los rayos solares.
Reactividad Química	No reactivo
Incompatibilidad con otros productos	No se espera que se presenten problemas de compatibilidad química en las mezclas recomendadas.
Productos Peligrosos con otros Productos	Ninguno
Peligro de Polimerización	No ocurrirá

FUENTE: Información técnica, Claisen, S.A.

## 2.5.3 Identificación de riesgos

No contiene ingredientes peligrosos.

No presenta riesgo para la salud cuando se usa en la dosis recomendada y se observan los niveles adecuados de higiene personal e industrial.

No produce efectos cancerígenos, teratogénicos o reproductivos. No es mutágeno

Ojos: Puede causar ligera irritación.

Piel: Contactos prolongados podrían ocasionar una leve irritación. No existe riesgo de absorción.

Ingestión: La toxicidad de una dosis oral simple es muy baja.

Inhalación: En condiciones normales de uso, el riesgo de inhalación es muy bajo. La exposición al rocío concentrado puede ocasionar leve irritación en el tracto respiratorio.

#### **2.5.4 Información ecológica**

El producto no presenta riesgos para el medio ambiente.

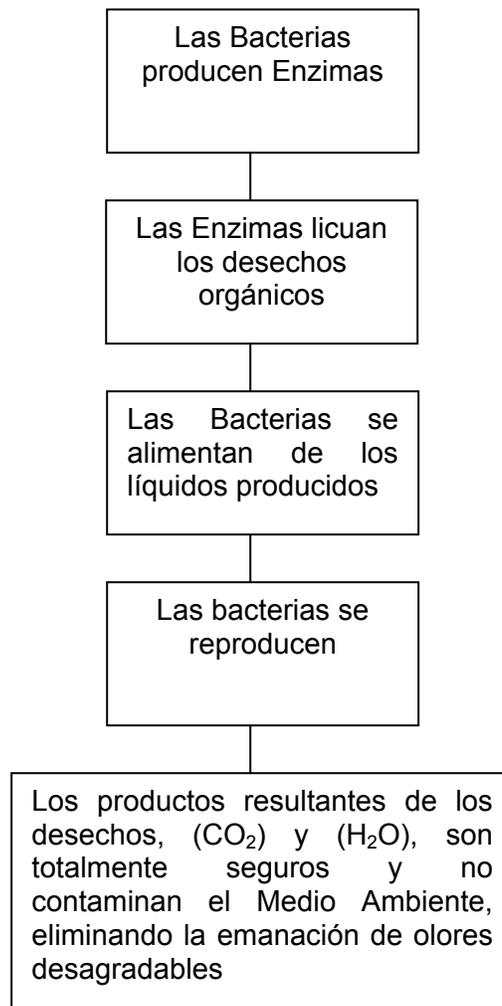
#### **2.5.5 Consideraciones sobre disposición final**

Limpiar los envases vacíos mediante triple lavado, después de su uso.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> La fuente fue tomada de la **Información técnica, Claisen, S.A.**

**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso de las Enzimas para la descomposición de desechos orgánicos:



**FUENTE: Información técnica, CEK de Centroamérica S.A.**

### **3. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE LA ENZIMA BIODIGESTORA**

#### **3.1 Planta de tratamiento de aguas residuales**

Conjunto de equipos para hacer un proceso químico, físico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

#### **3.2 Caracterización actual del agua con tratamiento fisicoquímico**

Determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, de los parámetros requeridos en el presente reglamento, incluyendo caudal.

#### **3.3 Contaminantes a degradar con la aplicación de la enzima**

Una gran cantidad de contaminantes presentes en el agua de la planta de tratamiento son grasas y aceites vegetales, desechos sólidos de maíz y almidones de papa, siendo estos grandes participes en las mediciones de DBO, DQO y grasas, que son los parámetros con un grado de complejidad y de contaminación grande.

#### **3.4 Condiciones de operación de la Planta de tratamiento de aguas residuales de carácter fisicoquímico**

La planta de tratamiento con que se cuenta actualmente dentro de la empresa, es una planta de tratamiento de agua residual de tipo fisicoquímica.

A la planta de tratamiento llega toda el agua que se utiliza en la planta de producción proveniente de los usos primarios y secundarios (exceptuando la de sanitarios). En dicha planta se le aplican diversos químicos para neutralizar el agua y separar los lodos para su posterior descarga.

El objetivo de la planta de tratamiento es neutralizar el pH del agua residual para respetar las condiciones de descarga que se deben cumplir con el código municipal y el código de salud en Guatemala.

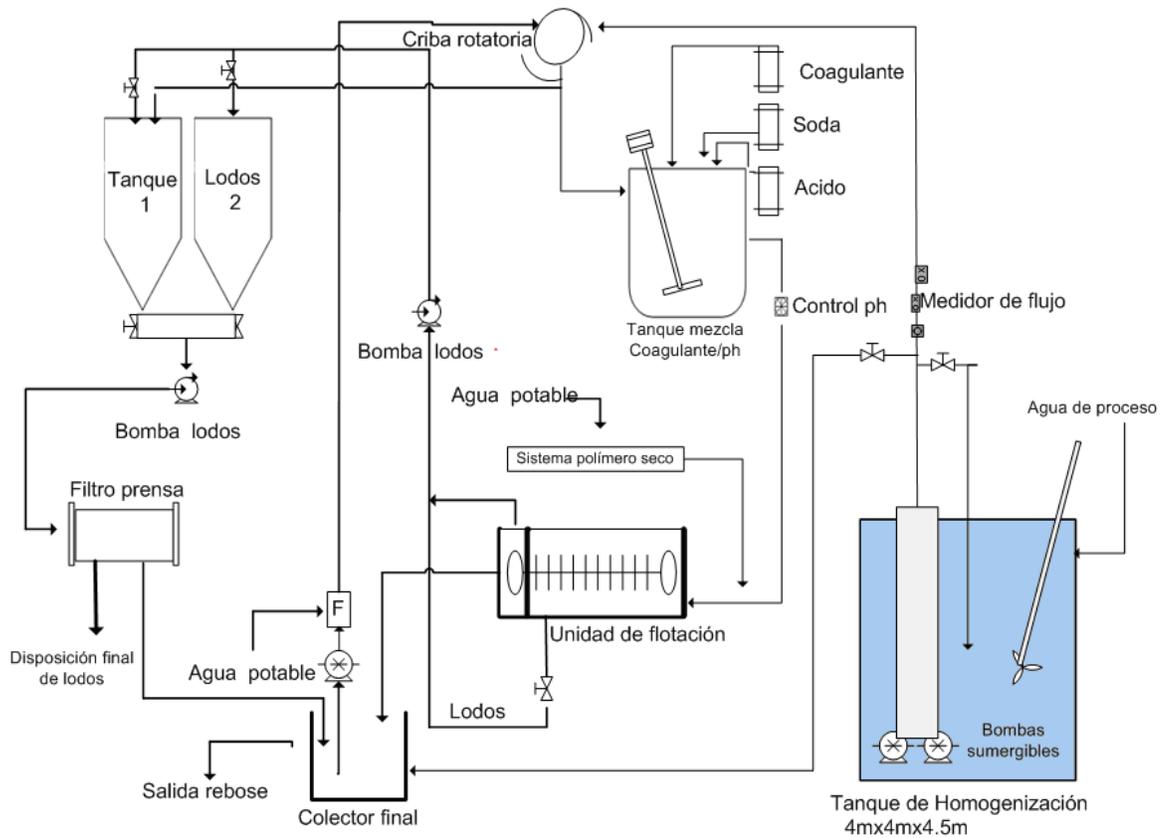
Es importante mencionar que esta planta trabaja de manera automática, y cuenta con un plc en el cual se controla el pH, el flujo que registra la cantidad de galones por minuto que la planta está operando, así como el nivel del agua que contiene el tanque de homogenización, y la parte mecánica del proceso.

Para el uso adecuado de la planta de tratamiento se cuenta con los procedimientos adecuados para el monitoreo de las aguas residuales, los cuales cuentan de una previa homogenización del agua de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales, seguido pasa por un separador de sólidos que tiene como objetivo desechar la mayor parte de sólidos grandes luego es trasladada a un tanque de mezcla en el que se hace el ataque químico con coagulante catiónico (poli electrolito) siendo este el encargado de desestabilizar las cargas aniónicas del agua para formar pequeños floculos de materia orgánica con el fin de remover la mayor parte de sólidos suspendidos y partículas coloidales. En el mismo lugar se ataca químicamente el pH del agua estabilizándose a 7; si el pH del agua es menor de 7 se estabiliza con hidróxido de sodio por medio de una bomba dosificadora de una solución de hidróxido de sodio de 6M; si el pH del agua es mayor a 7 este es estabilizado con ácido sulfúrico al 98%, suministrado por una bomba dosificadora operada manualmente.

Por último, se dosifica el floculante quien es el encargado de formar floculos grandes ya que es un polímetro de cadena carbonada extensa que este contiene enlaces abiertos de carbono los cuales son completados por los micro floculos hechos con el coagulante para formar los lodos de flotación.

Se muestra en un diagrama de flujo para su mejor comprensión.

**Figura 5.** Diagrama de proceso, Planta de tratamiento de aguas residuales



Fuente: **Manual planta de tratamiento, Departamento de Mantenimiento**

El tratamiento que se hace actualmente al agua residual se compone de los siguientes factores:

**Tabla III.** Tratamiento realizado actualmente al agua residual.

<b>Químico utilizado</b>	<b>Efecto</b>	<b>Dosis</b>
Policloruro de aluminio	Coagulación	80 ppm
Polydadmac	Floculación	25 ppm

**FUENTE: Laboratorio de análisis de aguas residuales, Planta de Tratamiento.**

## **4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

Para la experimentación de las pruebas de caracterización del agua residual son utilizados los métodos que se citan a continuación, los cuales están diseñados para determinar los parámetros requeridos en un análisis completo de agua.

### **4.1 Sólidos suspendidos totales (Método 2540 D Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual)**

Principio: Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103 – 105<sup>0</sup>C. El aumento de peso del filtro presenta los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos puede proporcionar un cálculo aproximado de los sólidos totales en suspensión.

### **4.2 Sólidos sedimentables (Método 2540 F Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual)**

Principio: Los sólidos sedimentables de las aguas de superficie y salinas, así como los residuos domésticos e industriales pueden ser determinados y expresados en función del un volumen (ml/L) o de un peso (ml/L).

#### **4.3 Sólidos disueltos (Método 2540 C Métodos Estándar para el examen de agua y agua Residual)**

Principio: Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio; posteriormente, el filtrado se evapora hasta que se seque en una placa pesada y secada a peso constante a 180°C. El aumento del peso de la placa representa los sólidos totales disueltos. Para determinar los sólidos totales disueltos, puede utilizarse el filtrado a partir de la determinación de sólidos totales en suspensión.

#### **4.4 Grasas y aceites (Método 5520 D Métodos Estándar para el examen de agua y agua Residual)**

Principio: los jabones metálicos solubles son hidrolizados por acidificación. Solo los aceites y las grasas sólidas o viscosas presentes se separan de las muestras líquidas por filtración. Después de la extracción en un aparato Soxhlet con triclorotrifluoroetano, se pesa el residuo que queda después de la evaporación del disolvente para determinar el contenido en aceite y grasa. Los compuestos que volatilizan a, o por debajo de, 103°C se perderán cuando se seque el filtro.

#### **4.5 Turbidez (Método 2130 B Métodos Estándar para el examen de agua y agua Residual)**

Principio: Este método se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, mas intensa es la turbidez. Como suspensión patrón de turbidez de referencia se emplea el polímero formacina. Es fácil de preparar y en cuanto a propiedades de dispersión de luz, mas reproducible que la arcilla o el agua turbia natural. La turbidez de una concentración especificada de suspensión de formacina se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas. Esta suspensión tiene una turbidez aproximada de 40 unidades Jackson si se mide en el turbidímetro de bujía; por lo tanto, las unidades nefelométricas basadas en la preparación de formacina se aproximaran a las del turbidímetro de bujía, pero no serán idénticas.

#### **4.6 Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Método 5220 C Métodos Estándar para el examen de agua y agua Residual)**

Principio: La mayor parte de la materia orgánica resulta oxidada por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Se somete a reflujo una muestra de solución ácida fuerte con exceso conocido de dicromato de potasio. Después de la digestión el dicromato de potasio no reducido que quede determina con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de dicromato de potasio

consumido y calcular la materia orgánica oxidable en términos de equivalentes de oxígeno. Manténgase constantes las proporciones de pesos en reactivos, de volúmenes y de concentraciones cuando se utilicen volúmenes de muestra distintos de 50 ml. El tiempo estándar de reflujo de 2 horas puede reducirse si se ha demostrado que un periodo mas corto produce los mismos resultados.

#### **4.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Método 5210 B Métodos**

##### **Estándar para el examen de agua y agua Residual)**

Principio: El método consiste en llenar con muestra, hasta rebosar, un frasco hermético del tamaño especificado, e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación, y el DBO (también llamado ROB que significa Requerimiento de oxígeno bioquímico) se calcula mediante la diferencia entre el OD (Oxígeno Disuelto) inicial y el final. Debido a que el OD se determina inmediatamente después de hacer la dilución, toda la captación de oxígeno, incluida la que ocurre durante los primeros minutos, se incluye en la determinación de DBO.

#### **4.8 Recursos utilizados**

A continuación se describirán los recursos incurridos para la ejecución del estudio realizado.

#### **4.8.1 Factor tiempo**

Dentro del laboratorio de la planta de tratamiento se realizaron pruebas del comportamiento de la enzima biodigestora durante 90 días distribuidos en 4 dosis en un tiempo de una frecuencia de 6 horas durante el día, el cual fue suficiente para garantizar la efectividad del proceso enzimático en una planta de tratamiento de aguas residuales de carácter fisicoquímico.

#### **4.8.2 Recursos económicos**

En el estudio realizado se incurrió a una inversión necesaria para demostrar el eficiente efecto que presentan las enzimas biodigestoras en las aguas residuales manejadas con una alta carga orgánica. Es de recordar que por los volúmenes tan altos de agua que se manejan dentro de la planta de tratamiento es directamente proporcional a la aplicación de la enzima biodigestora, por lo que las cantidades manejadas de dicha enzima son altas. Una cifra aproximada de la inversión adicional al tratamiento ya manejado dentro de la planta fue de Q.30,000.00 mensuales.

#### **4.8.3 Recursos técnicos**

Se utilizaron diversos materiales para realizar el análisis de las aguas residuales adicionando enzima biodigestora, en el cual se involucro materiales

como cristalería, equipo de laboratorio, instrumentación, muestra, papelería, reactivos, muestra directa a analizar (agua residual tratada con enzima biodigestora), electricidad, mobiliario y equipo de la planta de tratamiento y equipo de computo.

#### **4.8.4 Capital humano**

Para realizar las pruebas fue indispensable la participación del personal operativo capacitado para la ejecución del estudio de las aguas tratadas con enzima biodigestora, ya que la adición fue realizada manualmente se requirió del personal técnico en horarios nocturnos y diurnos para darle seguimiento a la ejecución del estudio, además se requirió de la experiencia adquirida en el manejo de aguas residuales de la persona encargada de la planta de tratamiento con el objetivo de interpretar, aplicar dosis, hacer cálculos precisos y exactos de las corridas realizadas con enzima biodigestora.

## **5. IMPLEMENTACIÓN DEL USO DE LA ENZIMA BIODIGESTORA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL**

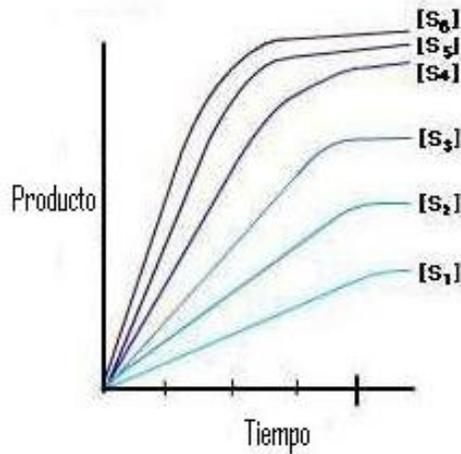
### **5.1 Análisis de la preparación de la concentración óptima de la enzima**

#### **Biodigestora**

La característica principal de la enzima Biodigestora es una Oxido-Reductasa, la cual cataliza reacciones de óxido-reducción, en las que implican la ganancia o reducción, o la pérdida de electrones u oxidación, ya que el tratamiento con el polielectrolito adicionado es para desestabilizar las cargas electrostáticas que adquiere el agua al ser contaminada con agentes ajenos a su naturaleza.

La actividad enzimática se puede estudiar bajo condiciones controladas añadiéndole una enzima a un substrato. Si se trabaja con la condición que la concentración del substrato sea saturante, variando entonces la concentración de enzima, se observa que aumenta el producto de la reacción, a pH y temperatura constantes.

**Figura 6.** Comportamiento de la concentración de la enzima Biodigestora en función del sustrato.



FUENTE: [www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm](http://www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm)

Conociendo la actividad enzimática del sustrato se hicieron pruebas con la enzima, simulando el proceso de coagulación y floculación que se lleva a cabo en los equipos de la planta de tratamiento de agua, utilizando como muestra 500 ml de agua sin tratar y variando la concentración de las muestras preparadas de enzima, a este proceso se le conoce como prueba de jarras.

**Tabla IV.** Resultados obtenidos con las pruebas de jarras realizadas para la determinación de la concentración óptima de la enzima Biodigestora

Concentración	Resultado	Observaciones
6 ppm	Elevación en los resultados de los parámetros analizados (DBO y Sólidos)	Aumento del resultado de los parámetros de referencia en la muestra de agua
5 ppm	Elevación en los resultados de los parámetros analizados (DBO y Sólidos)	Continúan altos los parámetros de referencia
4 ppm	Disminuyo el resultado de los análisis realizados al agua residual	Bajaron los resultados un 8% aproximado para todos los análisis realizados
3 ppm	No se observaron cambios en los resultados iniciales	No se observaron cambios en los parámetros de referencia continuaron altos

**FUENTE: Resultados obtenidos en laboratorio de análisis de aguas residuales, Planta de Tratamiento.**

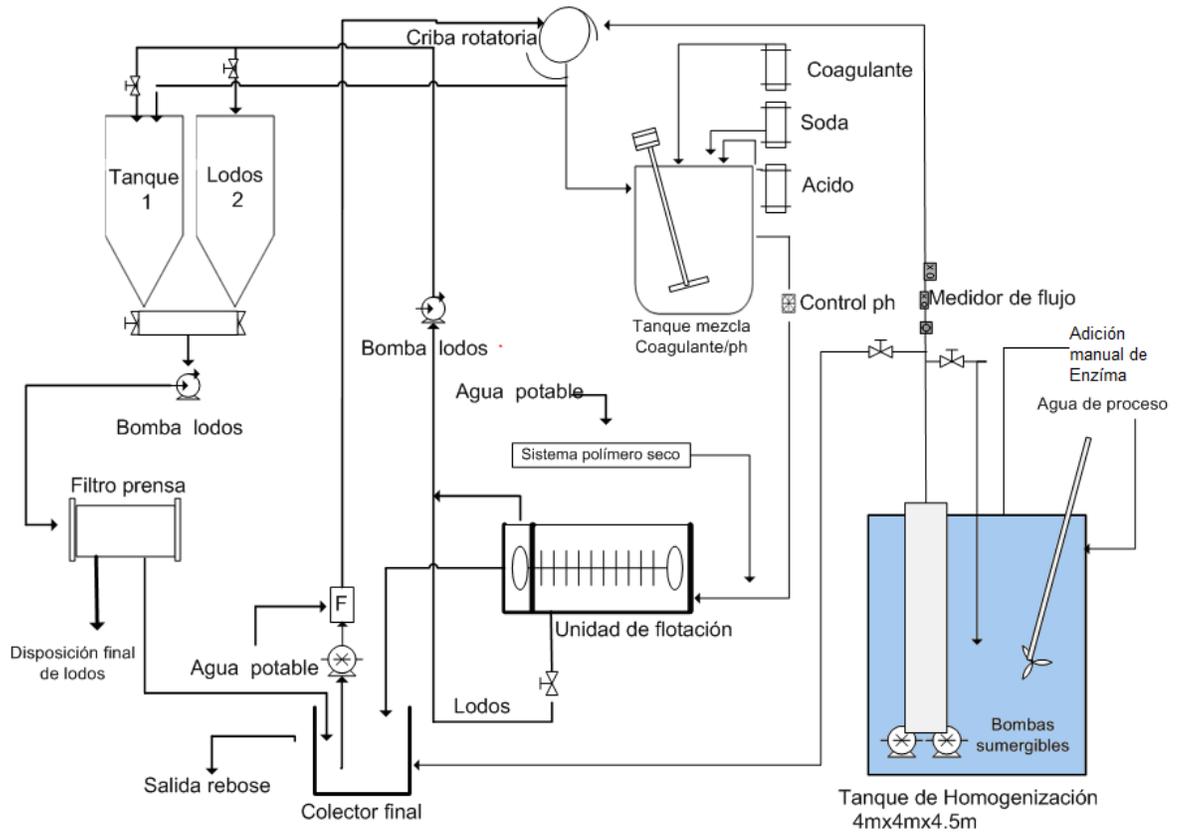
Utilizando como referencia la tabla V se procedió a realizar la implementación de la dosis recomendada de la enzima biodigestora la cual fue la siguiente: 1.10 kilogramos diluidos en 15 litros de agua obteniendo así la concentración de 4 partes por millón, concentración óptima para el tratamiento del agua. Esta mezcla fue adicionada al tanque de homogenización el cual trata actualmente 28.39 m<sup>3</sup>/hora las 24 horas del día, y tiene la capacidad de almacenar 150 m<sup>3</sup> de agua residual.

Para iniciar el trabajo de la enzima fue necesario realizar un tratamiento de choque para el cual se adicionó al tanque de homogenización una cantidad de tres kg de enzima diluidos en agua cada 6 horas durante 3 días, esto con la finalidad de producir una colonia que serviría como base de la reproducción de las enzimas que tratarían el agua residual.

Para la adición de la enzima biodigestora en el sistema, no hubo necesidad de un cambio físico en las instalaciones de la planta de tratamiento, únicamente se adicionaron batch en forma directa al tanque de homogenización cada 6 horas quedando estipulado de la siguiente manera: 7:00 a.m., 12: 00 p.m., 7:00 p.m. y 12:00 a.m.

El sistema de adición se describe gráficamente de la siguiente manera:

**Figura 7.** Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de agua residual con adición de la enzima biodigestora.



**FUENTE: Planos Planta de Tratamiento de aguas residuales.**

## 5.2 Resultados obtenidos con la aplicación de la Enzima Biodigestora

Para determinar la calidad de agua tratada en la Planta de Tratamiento, se realizó una caracterización con una muestra del efluente de agua, la cual proporciono los resultados que a continuación se presentan:

**Tabla V.** Caracterización de agua del efluente previo al tratamiento enzimático

Análisis	Dimensional	Resultado Entrada	Resultado Salida
pH	---	4.57	4.54
Color	--	1309	907
Demanda química de oxígeno	mg/l	13070	6150
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	9150	4275
Relación DQO/DBO	--	1.4	1.4
Sólidos Sedimentables	mg/l	300	< 0.1
Sólidos Suspendidos	mg/l	5312	612
Sólidos Disueltos	mg/l	1070	1011
Sólidos Totales	mg/l	6382	1623
Aceites y Grasas	mg/l	81	24

FUENTE: Informe de análisis de Laboratorio Externo.

Se muestreó la entrada a la planta de tratamiento y la salida al alcantarillado público para observar los cambios notorios que presento la adición de la enzima Biodigestora.

Los datos del mes de septiembre de 2007 aún no contienen la enzima biodigestora, pero se colocaron para tener un patrón de comparación para observar si se ve algún cambio en la adición de la enzima.

En el mes de octubre de 2007 se inicio la adición de la enzima Biodigestora en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Para llevar un control más exacto, se diseñó un modelo de formato para la recopilación de datos obtenidos durante el periodo de prueba, el cual quedo establecido dentro de la planta para ser utilizado como archivo de datos.

El modelo presenta datos indispensables de monitoreo:

- Caudal manejado en la planta de tratamiento
- Tipo de muestra
- Fecha de realización del análisis
- Cultivo o procedencia del agua a tratar
- Responsable del análisis
- Dirección del establecimiento
- Número de orden, para llevar un mayor control
- Resultados en la entrada como en la salida de la planta de tratamiento, así como sus respectivas dimensionales.

Se presenta un ejemplo del formato a continuación.

**Figura 8.** Modelo de formato para la recopilación de datos de análisis de agua residual.

## PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### INFORME DE ANÁLISIS

<b>Persona Responsable:</b>			
<b>Dirección:</b>			
<b>Localización:</b>			
<b>Cultivo:</b>			
<b>Número de orden:</b>			
<b>Fecha de realización:</b>			
<b>Tipo de muestra</b>			
<b>Caudal:</b>			
<b>Tipo de muestreo:</b>			
	<b>Parámetros</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Valor Entrada</b>
	<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	mg/L O <sub>2</sub>	
	<b>Demanda química de oxígeno</b>	mg/L O <sub>2</sub>	
	<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	
	<b>Sólidos disueltos</b>	mg/L	
	<b>Sólidos en suspensión totales</b>	mg/L	
	<b>Sólidos sedimentables</b>	ml/L	
	<b>Sólidos totales</b>	mg/L	
	<b>pH</b>		
	<b>Temperatura</b>	°C	
	<b>Turbidez</b>	FTU	
			<b>Valor Salida</b>

FUENTE: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

### 5.3 Sólidos en suspensión en mg/L

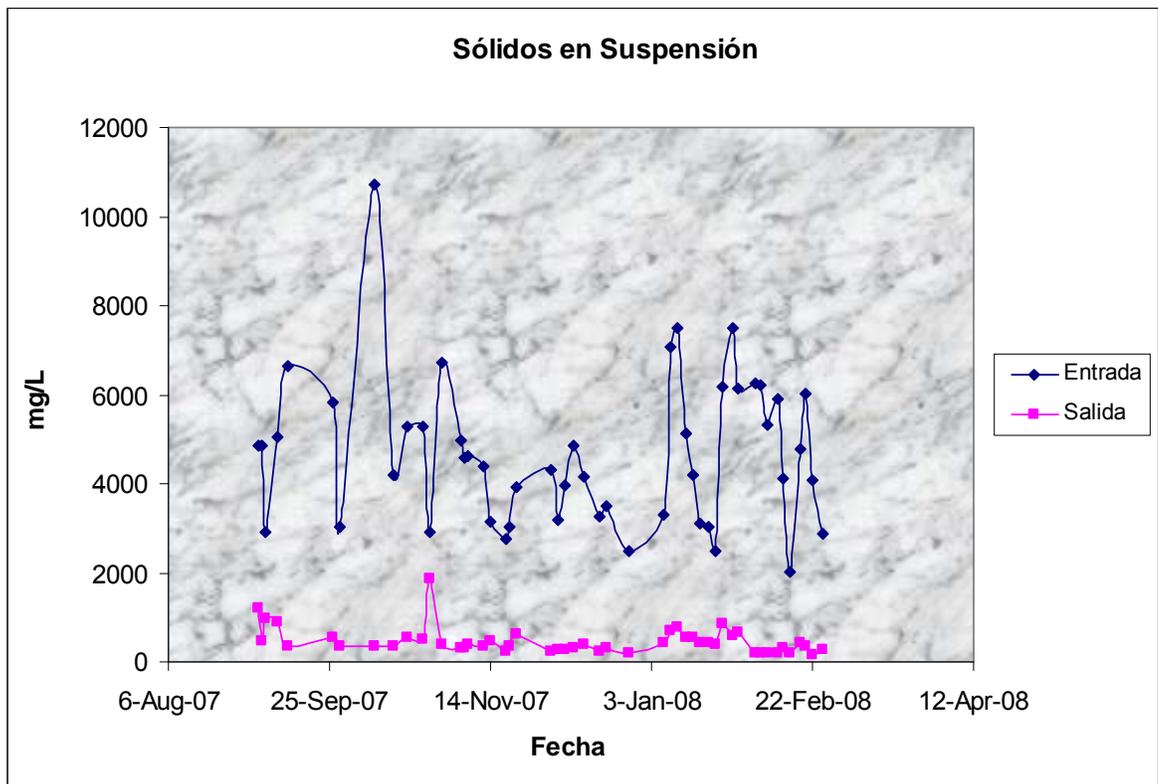
**Tabla VI.** Resultados de sólidos en suspensión

Fecha	Entrada	Salida	Porcentaje de Reducción	Fecha	Entrada	Salida	Porcentaje de Reducción	
03-sep-07	4870	1212	75.11	18-dic-07	3254	214	93.42	
04-sep-07	4862	480	90.13	20-dic-07	3497	298	91.48	
05-sep-07	2932	962	67.19	27-dic-07	2500	195	92.20	
09-sep-07	5060	908	82.06	07-ene-08	3298	423	87.17	
12-sep-07	6654	366	94.50	09-ene-08	7064	696	90.15	
26-sep-07	5820	542	90.69	11-ene-08	7514	792	89.46	
28-sep-07	3010	366	87.84	14-ene-08	5127	541	89.45	
09-oct-07	10714	352	96.71	16-ene-08	4178	547	86.91	
15-oct-07	4182	332	92.06	18-ene-08	3124	432	86.17	
19-oct-07	5266	544	89.67	21-ene-08	3014	425	85.90	
24-oct-07	5288	512	90.32	23-ene-08	2470	401	83.77	
26-oct-07	2924	1848	36.80	25-ene-08	6179	847	86.29	
30-oct-07	6714	396	94.10	28-ene-08	7482	564	92.46	
05-nov-07	4972	326	93.44	30-ene-08	6142	645	89.50	
06-nov-07	4570	312	93.17	04-feb-08	6246	192	96.93	
07-nov-07	4631	388	91.62	06-feb-08	6200	202	96.74	
12-nov-07	4370	344	92.13	08-feb-08	5321	200	96.24	
14-nov-07	3144	472	84.99	11-feb-08	5892	207	96.49	
19-nov-07	2768	222	91.98	13-feb-08	4127	301	92.71	
20-nov-07	3028	366	87.91	15-feb-08	2001	198	90.10	
22-nov-07	3930	604	84.63	18-feb-08	4794	443	90.76	
03-dic-07	4321	220	94.91	20-feb-08	6008	336	94.41	
05-dic-07	3187	278	91.28	22-feb-08	4096	144	96.48	
07-dic-07	3945	280	92.90	25-feb-08	2860	291	89.83	
10-dic-07	4872	321	93.41	27-feb-08	2580	230	91.09	
13-dic-07	4170	383	90.82	29-feb-08	1478	101	93.17	
					<b>Promedio</b>	<b>4550.96</b>	<b>446.17</b>	<b>89.22</b>

FUENTE: Datos obtenidos en el laboratorio utilizando el Método 2540 D

**Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual.**

**Figura 9.** Relación entrada y salida de Sólidos en Suspensión



FUENTE: Resultados de Tabla VI.

## 5.4 Sólidos Disueltos en mg/L

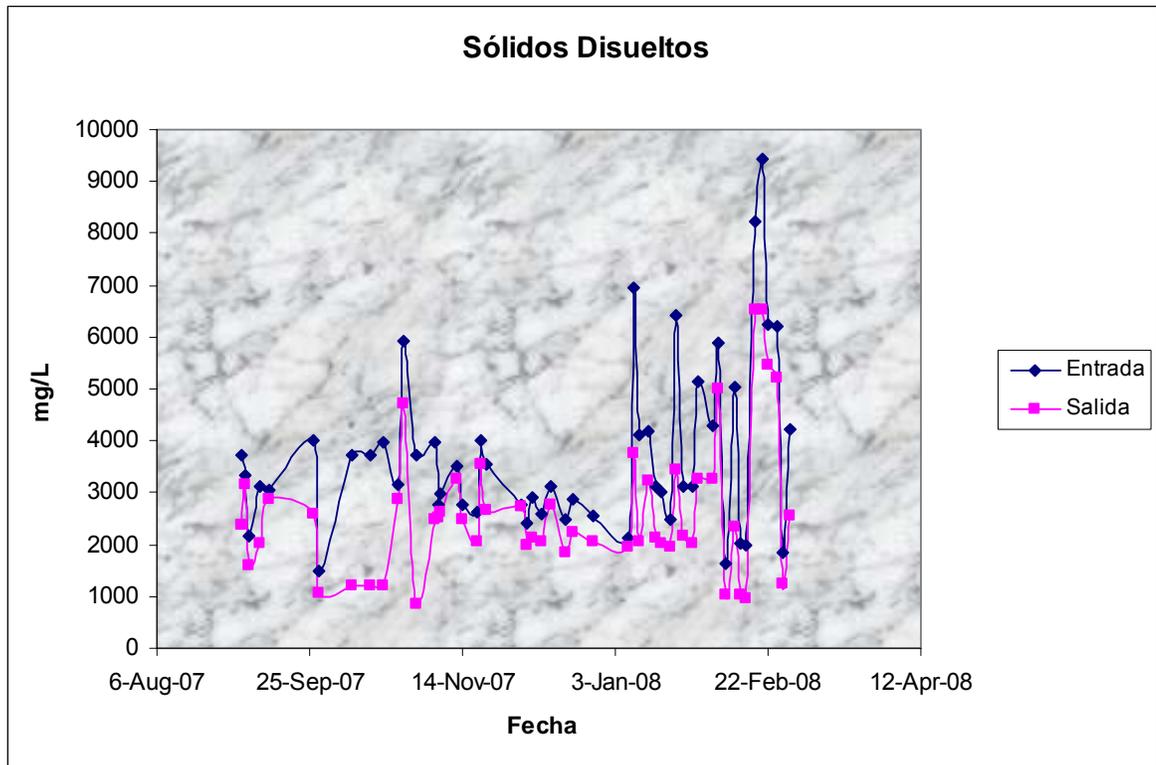
**Tabla VII.** Resultados de sólidos disueltos

Fecha	Entrada	Salida	Porcentaje de Reducción	Fecha	Entrada	Salida	Porcentaje de Reducción
03-sep-07	3708	2384	67.31	18-dic-07	2492	1845	25.96
04-sep-07	3348	3140	6.21	20-dic-07	2861	2237	21.81
05-sep-07	2168	1584	26.94	27-dic-07	2543	2072	18.52
09-sep-07	3116	2024	35.04	07-ene-08	2120	1952	7.92
12-sep-07	3032	2868	5.41	09-ene-08	6940	3753	45.92
26-sep-07	3998	2587	35.29	11-ene-08	4100	2047	50.07
28-sep-07	1488	1068	28.23	14-ene-08	4178	3217	23.00
09-oct-07	3728	1216	67.38	16-ene-08	3124	2114	32.33
15-oct-07	3728	1216	67.38	18-ene-08	3014	2006	33.44
19-oct-07	3960	1196	69.80	21-ene-08	2470	1951	21.01
24-oct-07	3164	2884	8.85	23-ene-08	6417	3427	46.59
26-oct-07	5928	4708	20.58	25-ene-08	3107	2148	30.87
30-oct-07	3720	862	76.83	28-ene-08	3120	2004	35.77
05-nov-07	3956	2496	36.91	30-ene-08	5142	3270	36.41
06-nov-07	2756	2532	8.13	04-feb-08	4278	3254	23.94
07-nov-07	2987	2624	12.15	06-feb-08	5870	5002	14.79
12-nov-07	3510	3248	7.46	08-feb-08	1624	1037	36.15
14-nov-07	2760	2500	9.42	11-feb-08	5047	2340	53.64
19-nov-07	2612	2048	21.59	13-feb-08	2014	1020	49.35
20-nov-07	4000	3532	11.70	15-feb-08	1997	941	52.88
22-nov-07	3532	2664	24.58	18-feb-08	8210	6524	20.54
03-dic-07	2752	2728	0.87	20-feb-08	9420	6538	30.59
05-dic-07	2394	1987	17.00	22-feb-08	6244	5478	12.27
07-dic-07	2920	2136	26.85	25-feb-08	6207	5221	15.89
10-dic-07	2593	2058	20.63	27-feb-08	1841	1254	31.88
13-dic-07	3134	2760	11.93	29-feb-08	4207	2547	39.46
				<b>Promedio</b>	<b>3722.67</b>	<b>2620.17</b>	<b>29.53</b>

FUENTE: Datos obtenidos en el laboratorio utilizando el Método 2540 C

**Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual.**

**Figura 10.** Relación entrada y salida de Sólidos Disueltos.



**FUENTE: Resultados de tabla VII.**

## 5.5 Sólidos Sedimentables en mg/L

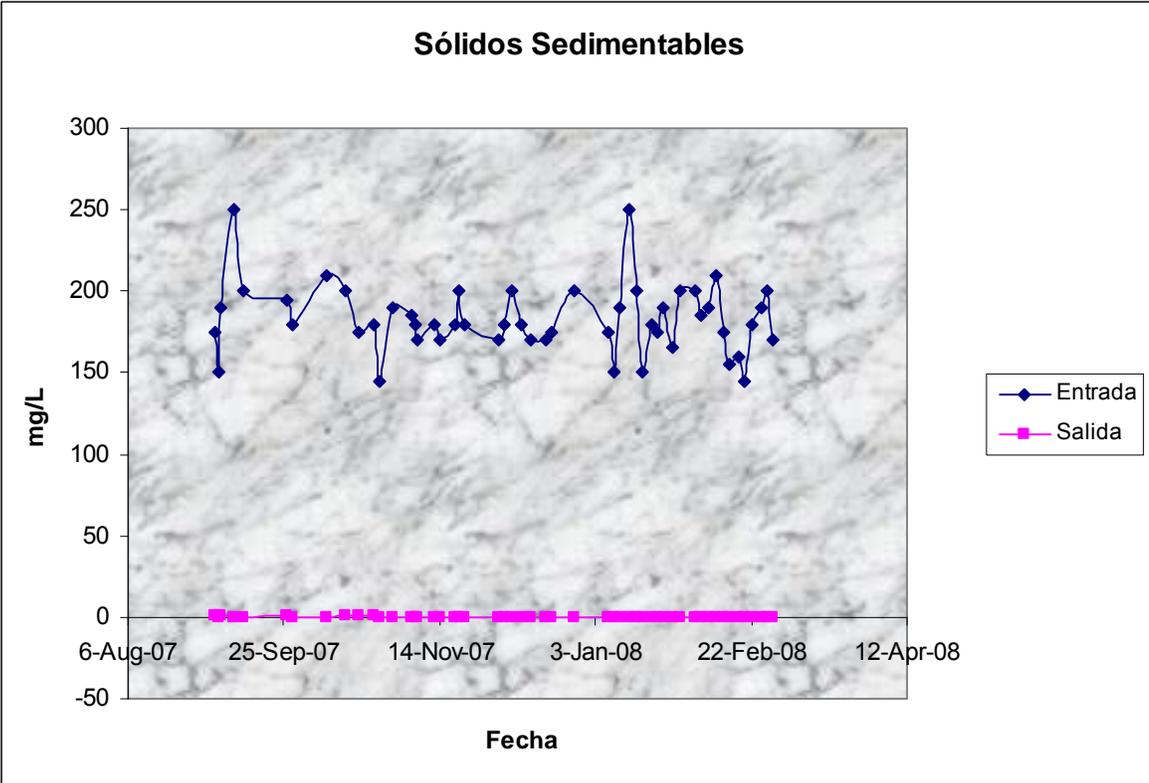
**Tabla VIII.** Resultado de sólidos sedimentables

Fecha	Entrada	Salida	Porcentaje de Reducción	Fecha	Entrada	Salida	Porcentaje de Reducción
03-sep-07	175	0.5	99.71	18-dic-07	170	0	100
04-sep-07	150	0.1	99.93	20-dic-07	175	0	100
05-sep-07	190	0.5	99.74	27-dic-07	200	0	100
09-sep-07	250	0	100	07-ene-08	175	0	100
12-sep-07	200	0	100	09-ene-08	150	0	100
26-sep-07	195	0.7	99.64	11-ene-08	190	0	100
28-sep-07	180	0.3	99.83	14-ene-08	250	0	100
09-oct-07	210	0	100	16-ene-08	200	0	100
15-oct-07	200	0.5	99.75	18-ene-08	150	0	100
19-oct-07	175	0.5	99.71	21-ene-08	180	0	100
24-oct-07	180	0.5	99.72	23-ene-08	175	0	100
26-oct-07	145	0	100	25-ene-08	190	0	100
30-oct-07	190	0	100	28-ene-08	165	0	100
05-nov-07	185	0	100	30-ene-08	200	0	100
06-nov-07	180	0	100	04-feb-08	200	0	100
07-nov-07	170	0	100	06-feb-08	185	0	100
12-nov-07	180	0	100	08-feb-08	190	0	100
14-nov-07	170	0	100	11-feb-08	210	0	100
19-nov-07	180	0	100	13-feb-08	175	0	100
20-nov-07	200	0	100	15-feb-08	155	0	100
22-nov-07	180	0	100	18-feb-08	160	0	100
03-dic-07	170	0	100	20-feb-08	145	0	100
05-dic-07	180	0	100	22-feb-08	180	0	100
07-dic-07	200	0	100	25-feb-08	190	0	100
10-dic-07	180	0	100	27-feb-08	200	0	100
13-dic-07	170	0	100	29-feb-08	170	0	100
				<b>Promedio</b>	<b>182.98</b>	<b>0.07</b>	<b>99.96</b>

FUENTE: Datos obtenidos en el laboratorio utilizando el Método 2540 F

**Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual.**

Figura 11. Sólidos Sedimentables



FUENTE: Resultados de tabla VIII.

## 5.6 Grasas y Aceites en mg/L

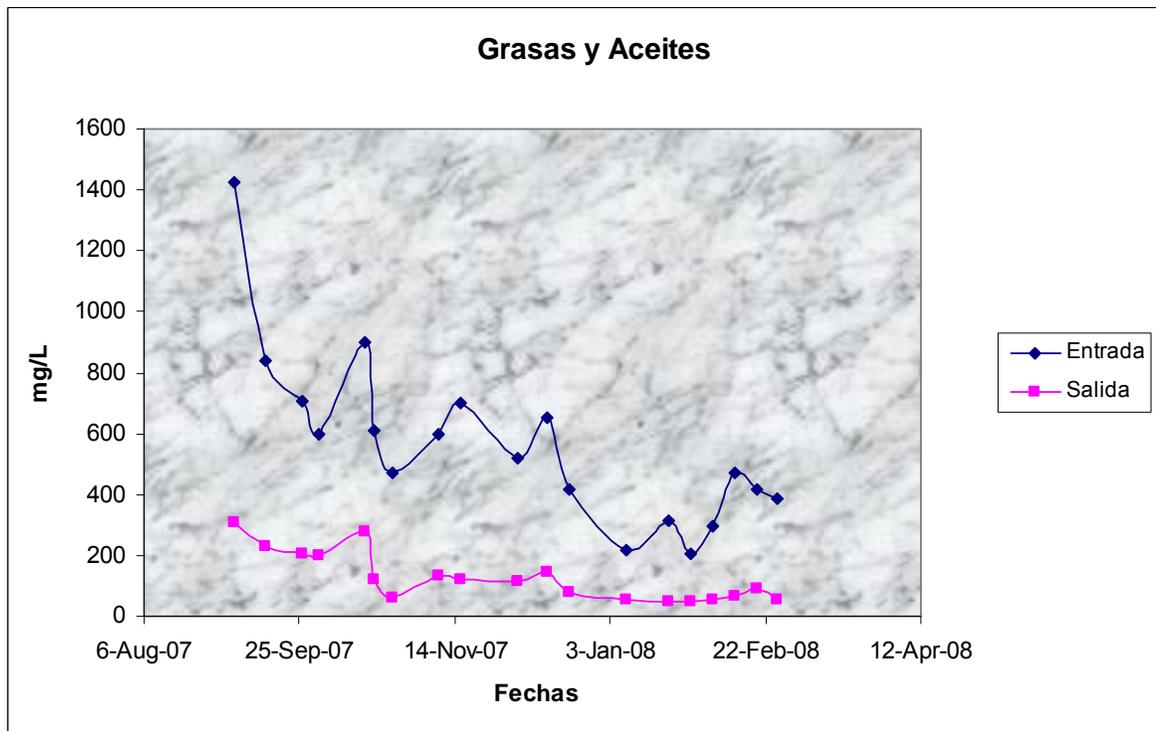
Tabla IX. Resultados de grasas y aceites

<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Porcentaje de Reducción</b>
04-sep-07	1425	310	78.25
14-sep-07	840	230	72.62
26-sep-07	704	208	70.45
01-oct-07	600	200	66.67
16-oct-07	900	278	69.11
19-oct-07	610	120	80.33
25-oct-07	470	60	87.23
09-nov-07	600	130	78.33
16-nov-07	700	122	82.57
04-dic-07	520	112	78.46
14-dic-07	650	147	77.38
21-dic-07	415	78	81.20
08-ene-08	220	56	74.55
22-ene-08	315	50	84.13
29-ene-08	208	50	75.96
05-feb-08	295	54	81.69
12-feb-08	470	69	85.32
19-feb-08	415	88	78.80
26-feb-08	389	52	86.63
<b>Promedio</b>	<b>565.58</b>	<b>127.05</b>	<b>78.40</b>

FUENTE: Datos Obtenidos en el laboratorio utilizando el Método 5520 D

Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual.

**Figura 12. Grasas y Aceites**



**FUENTE: Resultados de tabla IX.**

## 5.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO) en mg/L

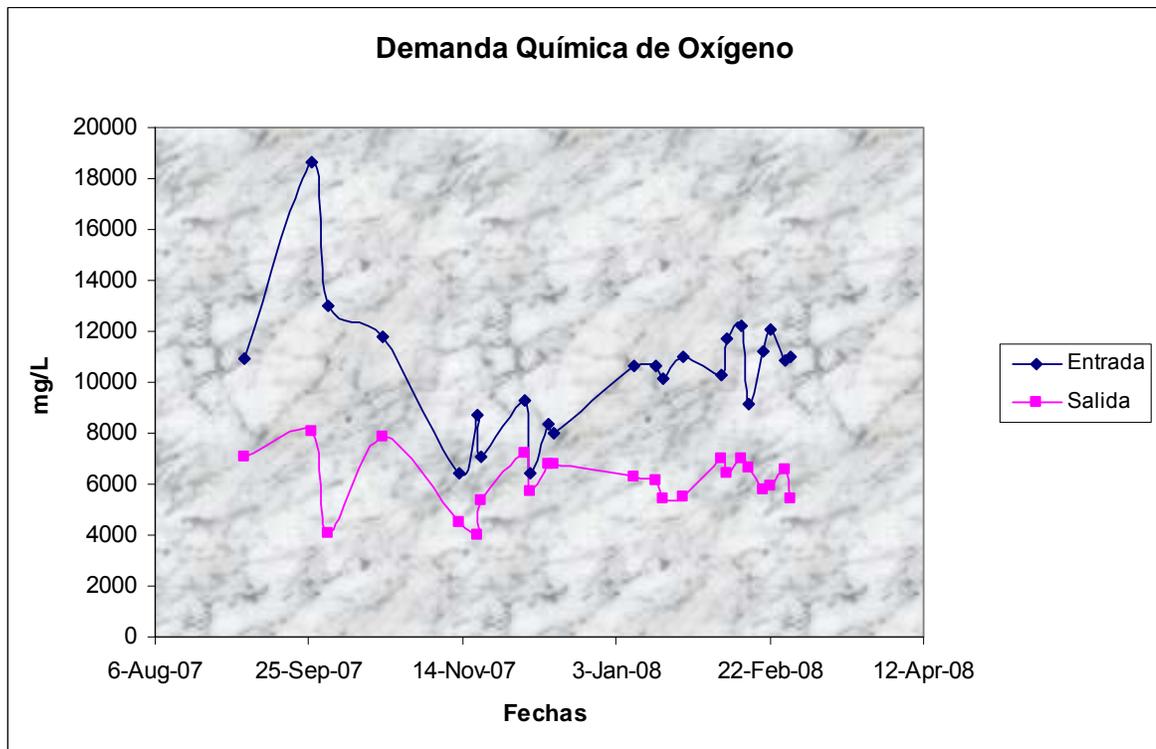
**Tabla X.** Resultados de Demanda Química de Oxígeno (DQO)

<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Porcentaje de Reducción</b>
04-sep-07	10940	7040	35.65
26-sep-07	18640	8080	56.65
01-oct-07	13020	4090	68.59
19-oct-07	11780	7860	33.28
13-nov-07	6420	4480	30.22
19-nov-07	8687	4032	53.59
20-nov-07	7085	5350	24.49
04-dic-07	9283	7227	22.15
06-dic-07	6445	5722	11.22
12-dic-07	8350	6806	18.49
14-dic-07	7967	6752	15.25
09-ene-08	10655	6270	41.15
16-ene-08	10670	6120	42.64
18-ene-08	10164	5395	46.92
25-ene-08	11007	5531	49.75
06-feb-08	10284	6976	32.17
08-feb-08	11715	6453	44.92
13-feb-08	12240	6999	42.82
15-feb-08	9112	6624	27.30
20-feb-08	11220	5794	48.36
22-feb-08	12087	5910	51.10
27-feb-08	10888	6536	39.97
29-feb-08	10982	5427	50.58
<b>Promedio</b>	<b>10419.17</b>	<b>6151.04</b>	<b>38.58</b>

FUENTE: Datos obtenidos en el laboratorio utilizando el Método 5220 C

**Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual.**

**Figura 13.** Demanda Química de Oxígeno (DQO)



**FUENTE: Resultados de tabla X.**

## 5.8 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en mg/L

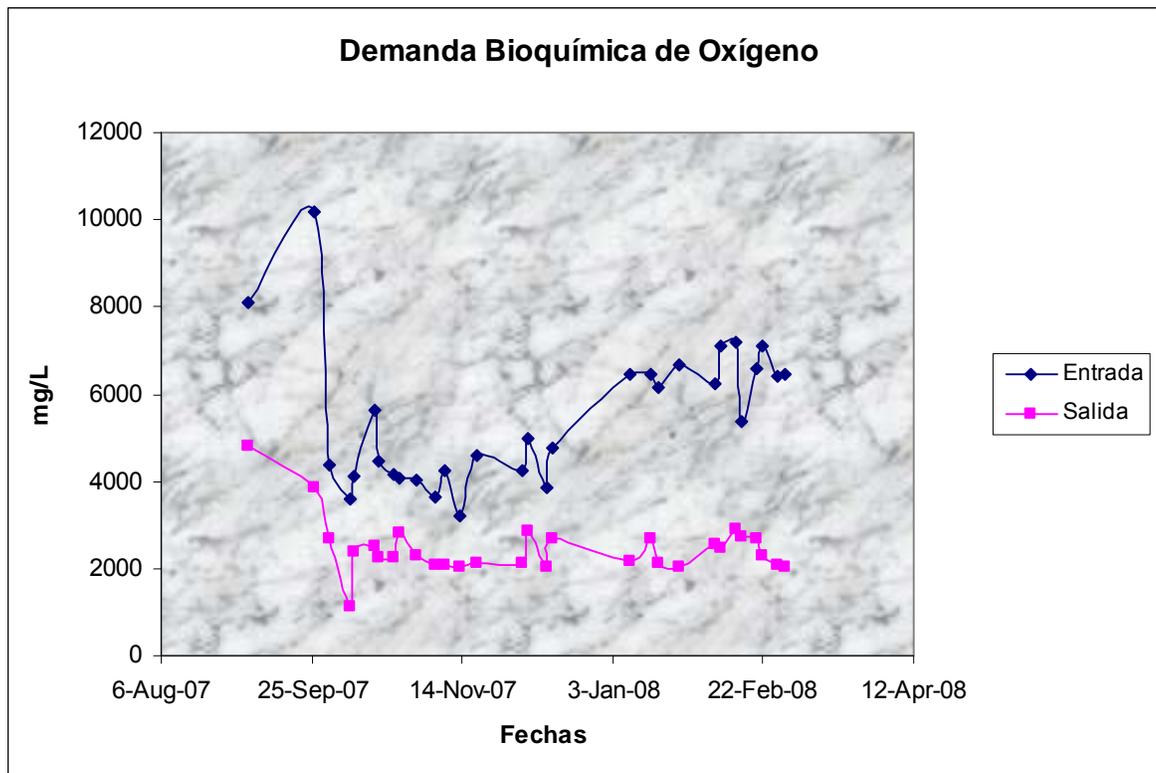
**Tabla XI.** Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Porcentaje de Reducción</b>
04-sep-07	8100	4800	40.74
26-sep-07	10200	3840	62.35
01-oct-07	4360	2700	38.07
08-oct-07	3600	1140	68.33
09-oct-07	4110	2390	41.85
16-oct-07	5640	2496	55.74
17-oct-07	4460	2256	49.42
22-oct-07	4140	2272	45.12
24-oct-07	4080	2800	31.37
30-oct-07	4020	2288	43.08
05-nov-07	3620	2072	42.76
08-nov-07	4250	2080	51.06
13-nov-07	3210	2016	37.20
19-nov-07	4590	2140	53.38
04-dic-07	4251	2135	49.78
06-dic-07	4970	2861	42.43
12-dic-07	3867	2042	47.19
14-dic-07	4780	2701	43.49
09-ene-08	6458	2180	66.24
16-ene-08	6467	2701	58.23
18-ene-08	6160	2140	65.26
25-ene-08	6671	2016	69.78
06-feb-08	6233	2572	58.74
08-feb-08	7100	2450	65.49
13-feb-08	7200	2882	59.97
15-feb-08	5360	2720	49.25
20-feb-08	6600	2694	59.18
22-feb-08	7110	2300	67.65
27-feb-08	6405	2080	67.53
29-feb-08	6460	2016	68.79
<b>Promedio</b>	<b>5482.4</b>	<b>2459.33</b>	<b>53.32</b>

FUENTE: Datos obtenidos en el laboratorio utilizando el Método 5210 B

**Métodos Estándar para el examen de agua y agua residual.**

**Figura 14.** Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)



FUENTE: Resultados de tabla XI.

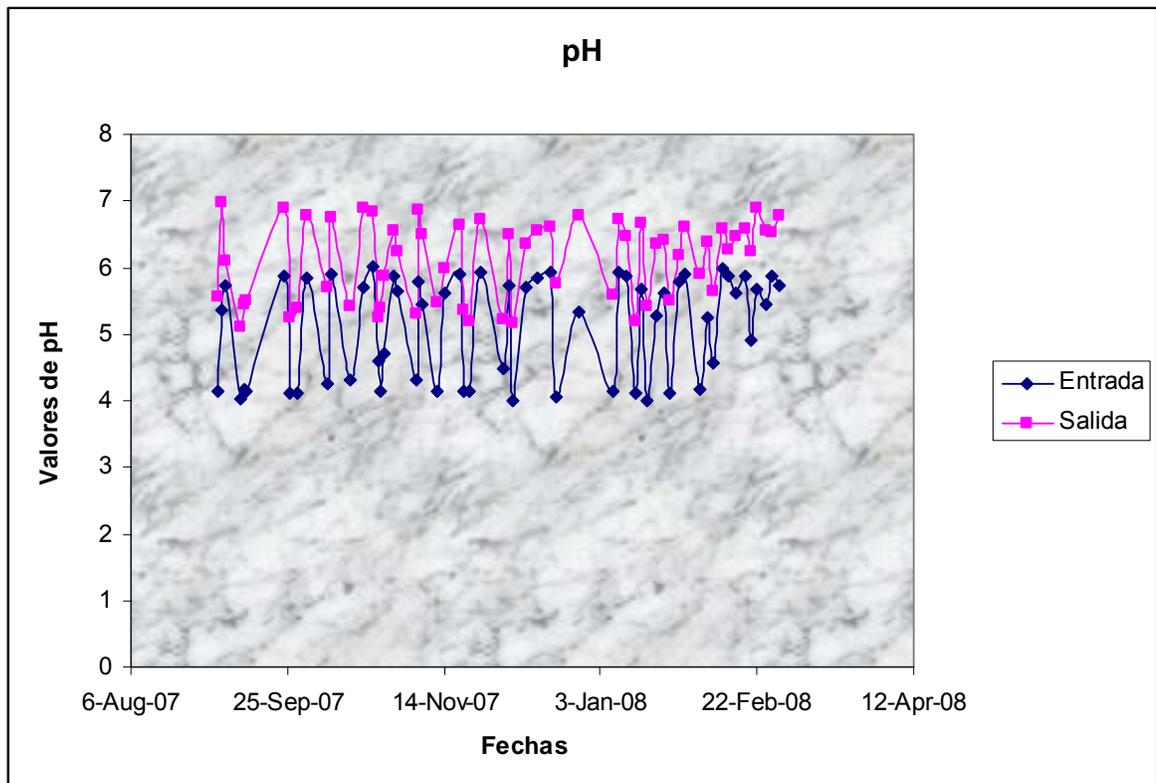
## 5.9 pH

**Tabla XII.** Resultados de pH

<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Fecha</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>
03-sep-07	4.15	5.56	05-dic-07	5.73	6.49
04-sep-07	5.35	6.97	06-dic-07	4.01	5.17
05-sep-07	5.74	6.11	10-dic-07	5.7	6.35
10-sep-07	4.03	5.1	14-dic-07	5.84	6.54
11-sep-07	4.18	5.45	18-dic-07	5.92	6.62
12-sep-07	4.13	5.5	20-dic-07	4.07	5.75
24-sep-07	5.86	6.89	27-dic-07	5.34	6.78
26-sep-07	4.1	5.25	07-ene-08	4.14	5.6
28-sep-07	4.12	5.38	09-ene-08	5.92	6.72
01-oct-07	5.84	6.78	11-ene-08	5.87	6.48
08-oct-07	4.25	5.69	14-ene-08	4.12	5.19
09-oct-07	5.91	6.75	16-ene-08	5.68	6.66
15-oct-07	4.3	5.41	18-ene-08	4	5.41
19-oct-07	5.7	6.9	21-ene-08	5.27	6.35
22-oct-07	6.01	6.85	23-ene-08	5.61	6.42
24-oct-07	4.6	5.24	25-ene-08	4.12	5.5
25-oct-07	4.15	5.38	28-ene-08	5.78	6.18
26-oct-07	4.72	5.87	30-ene-08	5.89	6.6
29-oct-07	5.88	6.54	04-feb-08	4.17	5.89
30-oct-07	5.64	6.24	06-feb-08	5.24	6.37
05-nov-07	4.31	5.31	08-feb-08	4.58	5.64
06-nov-07	5.78	6.87	11-feb-08	5.98	6.58
07-nov-07	5.45	6.5	13-feb-08	5.87	6.28
12-nov-07	4.13	5.47	15-feb-08	5.61	6.47
14-nov-07	5.62	5.99	18-feb-08	5.87	6.57
19-nov-07	5.89	6.64	20-feb-08	4.91	6.25
20-nov-07	4.15	5.35	22-feb-08	5.67	6.89
22-nov-07	4.13	5.2	25-feb-08	5.45	6.55
26-nov-07	5.92	6.71	27-feb-08	5.87	6.52
03-dic-07	4.47	5.22	29-feb-08	5.72	6.79
			<b>Promedio</b>	<b>5.11</b>	<b>6.11</b>

**FUENTE:** Datos obtenidos en el laboratorio utilizando aparato de medición en línea.

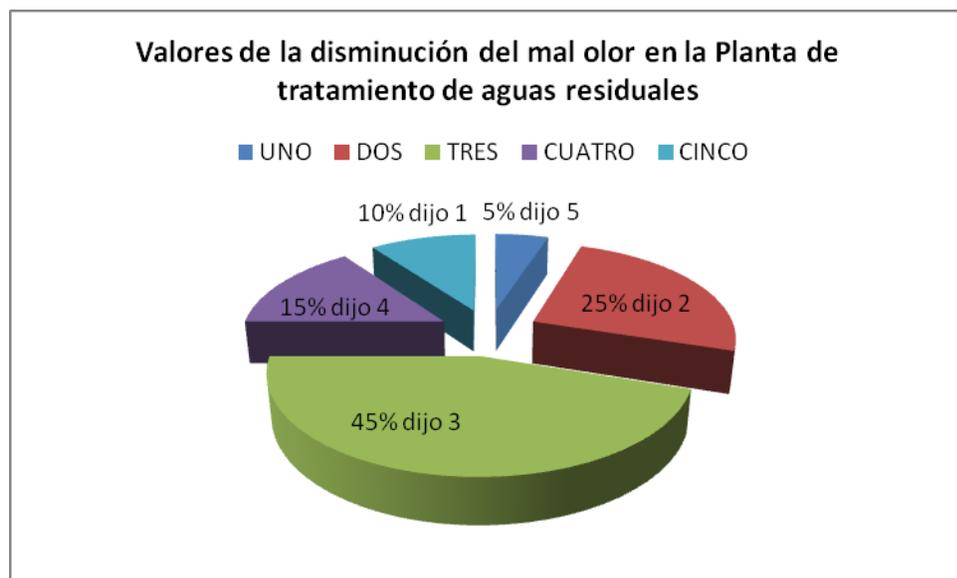
**Figura 15.** Resultados de pH



**FUENTE: Resultados de tabla XII.**

### 5.10 Olor

**Figura 16.** Resultado de la encuesta realizada a una población de colaboradores sobre su opinión en la disminución del mal olor en la Planta de tratamiento de aguas residuales y sus alrededores



**FUENTE:** Encuesta realizada a una muestra de 20 personas tomadas aleatoriamente.

## **5.11 Análisis de los Resultados**

Para obtener resultados óptimos en el sistema de adición de la enzima biodigestora, se observó que hay que tomar en cuenta algunas condiciones que son indispensables en el procedimiento de operación.

### **5.11.1 Sólidos**

En los resultados obtenidos con el uso de la enzima biodigestora, se presentó una disminución en la cantidad de sólidos en suspensión en un promedio de 89.22% en sólidos sedimentables un 99.96% y sólidos disueltos en un 29.53% a la salida ya que la enzima degradó gran parte de la materia orgánica coloidal que se encontraba contaminando la molécula de agua. Esto se puede verificar en las figuras 9, 10 y 11 en las páginas 44, 46 y 48, las que presentan la notoria reducción de los resultados.

### **5.11.2 Grasas y Aceites**

Para las grasas y aceites la disminución promedio es de 78.40% observándose en la figura 12 de la página 50, que la enzima biodigestora degradó una buena cantidad de materia orgánica posible constituida en el agua del proceso de fabricación de snacks.

### **5.11.3 Demanda Química y Bioquímica de Oxígeno**

Se analizan las dos en conjunto ya que dichos parámetros van de la mano, teóricamente la DBO es el 50 o 60% de la DQO, y se entrelazan para hacer una relación DBO/DQO con el fin de observar la cantidad de materia orgánica que aun esta presente en el agua residual. Anteriormente se tenía un porcentaje de materia biodegradable del 75 al 80%. Con la adición de la enzima biodigestora se logró una reducción del 38.58% para la DQO y 53.32% para la DBO, esto se obtiene siempre y cuando el sistema se mantenga en las condiciones óptimas de pH. Dichos resultados se muestran en las figuras 13 y 14 en las páginas 52 y 54. Los datos obtenidos cumplen con el objetivo propuesto de hacer una reducción del 10% del valor de la DBO, por ende de la DQO, ya que estos parámetros son los indicadores que mas auge tienen en el acuerdo gubernativo 236-2006, el cual refiere como patrón de medición de contaminación la carga orgánica manejada, y esta es constituida por la DBO y el caudal manejado en la descarga que el ente generador dispone al alcantarillado público.

### **5.11.4 pH**

Tomando en cuenta que las enzimas son proteínas, cualquier cambio brusco de pH puede alterar el carácter iónico de los grupos amino y carboxilo en la superficie proteica, afectando así las propiedades catalíticas de una enzima, a pH alto o bajo se puede producir la desnaturalización de la enzima y en consecuencia su inactivación. En la figura 15 de la página 56 se puede observar el comportamiento del pH, tratando que este se mantuviese en un promedio de 6.11 ya que las enzimas biodigestoras por encima o por debajo de dicho pH destruye la

colonia formada en el tratamiento inicial de choque, esto influyo en el aumento de los resultados de DBO, DQO, grasas y aceites.

Este problema se suscitó en los días que se realizan lavados de equipos para cambio de productos dentro de la planta, dichos lavados en algunas ocasiones son alcalinos (NaOH) y en otras son ácidos ( $H_2SO_4$ ,  $H_2PO_3$ ). Este inconveniente se corregía haciendo un nuevo tratamiento inicial de choque, para volver a generar una nueva colonia de enzimas biodigestoras y en 24 horas se podía observar de nuevo que los resultados de los análisis variaban.

#### **5.11.5 Temperatura**

La temperatura es un factor indispensable de análisis ya que es parte del sistema de vida de la enzima biodigestora. Una de las ventajas dentro del sistema en el cual se adiciono la enzima, es que no existen cambios significativos en la temperatura; esta oscila entre 32 y 35°C, siendo esta la óptima para el desarrollo de la colonia de enzimas biodigestoras, teniendo como referencia la curva que presenta la figura 3, en la cual marca que de 30 a 40°C es la temperatura óptima para el medio de vida de este tipo de material.

#### **5.11.6 Olor**

Se observó que al utilizar la enzima biodigestora el mal olor que caracteriza el agua residual disminuyó notablemente con la aplicación de la enzima, permitiendo tener un ambiente más agradable de trabajo dentro de la planta de

tratamiento de aguas residuales y en las áreas aledañas. Esto se pudo comprobar con un análisis estadístico realizado a un grupo de 20 colaboradores de la compañía manejándose de la siguiente manera, se les realizó la siguiente pregunta. ¿Cuánto considera usted que ha disminuido el mal olor de la Planta de tratamiento de aguas residuales? Se valoro la disminución en un rango de 1 a 5, los cuales se describen en la tabla que a continuación de presenta.

**Tabla XIII.** Modelo de Reducción del mal olor generado por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
1	No hubo Reducción
2	Ha reducido pero poco significativo
3	Se redujo
4	Se redujo Significativamente
5	Ambiente libre de mal olor

**FUENTE: Parámetros medidos en la percepción del mal olor de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Las respuestas obtenidas fueron que el cambio en el mal olor de los alrededores de la planta es notorio, el 45% de los resultados dicen que se redujo dicho parámetro, lo cual muestra que al introducir la enzima biodigestora dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales en una planta de carácter fisicoquímico si cumple con el objetivo de disminuir en un 10% del mal olor producido por dicha planta.

Al observar cada una de las figuras de la 9 ala 16, se puede constatar la mejora en los resultados obtenidos en la Planta de tratamiento de aguas residuales al adicionar este tipo de tratamiento enzimático.

## CONCLUSIONES

1. El uso de enzimas Biodigestoras en plantas de tratamiento de aguas residuales de carácter fisicoquímico es factible técnicamente, ya que ayuda a disminuir los parámetros de contaminación en un 10%.
2. El pH es una de las variables más importantes para el buen funcionamiento de las enzimas biodigestoras, ya que se comprobó que una alteración en el mismo anula el crecimiento de la colonia formadora.
3. Con la disminución del 10% en parámetros de contaminación descargados actualmente al colector municipal, por la planta de tratamiento de aguas residuales, se reduce el impacto ambiental que el agua residual proporciona, de igual forma se cumple con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en el Artículo 26.
4. No debe existir variación en la concentración de los poli electrolitos que actualmente se utilizan al adicionar la enzima Biodigestora, ya que no se obtienen mejoras en el proceso.
5. La eficiencia de la enzima Biodigestora no es la esperada en los resultados de grasas y aceites, la cual es del 78.40% de remoción, aunque este dato aparenta ser positivo, se pudo observar que al adicionarla en el sistema este parámetro aumento en función de la caracterización inicial realizada.



## RECOMENDACIONES

1. Es importante la implementación de un laboratorio de análisis químico dentro de la planta de tratamiento, así podemos hacer inspecciones puntuales y verificar cuando hay cambios bruscos de parámetros dentro del sistema, corrigiéndoles en el momento para el eficiente funcionamiento del proceso.
2. Mantener un sistema de control digital de pH en línea para tener un mejor control del agua que se tratara para que las enzimas realicen de una mejor forma su función, dicho control debe ser calibrado una vez por mes para que los datos de las lecturas sean lo mas objetivos posibles.
3. Cuando hayan cambios bruscos de pH y temperatura, se deberá evaluar el lugar óptimo en el cual se hará el tratamiento enzimático, ya que estos son indispensables para el ambiente de vida de las enzimas Biodigestoras.
4. Realizar pruebas de jarras una vez por semana para inspeccionar que el tratamiento químico y enzimático este en óptimas condiciones de operación.
5. Llevar un control de las dosificaciones de los batch de enzima agregada en los tiempos establecidos para que la colonia formadora aumente su capacidad de digestión, debido a que ellas están en constante renovación.
6. Para realizar el análisis de olor se debe utilizar una encuesta como método comparativo para determinar los resultados de la disminución de olor.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CAMARA DE LA INDUSTRIA GUATEMALTECA, **Seminario Caracterización de aguas residuales, Modulo I, II y III.** Guatemala 2007.
2. CLAISEN, S.A. **Información técnica.** División Tratamiento de aguas Industriales. Guatemala 2000.
3. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. **Reporte Nacional de Manejo de residuos en Guatemala 2004.**
4. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. **Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Acuerdo gubernativo número 236-2006.**
5. Método 2130 **“Método Nefelométrico”** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA, 19th Edition 1995, pp 2-14 – 2-16.
6. Método 2540 C **“Sólidos Disueltos”** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA, 19th Edition 1995, pp 2-81 – 2-83.
7. Método 2540 D **“Sólidos Suspendidos Totales”** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA, 19th Edition 1995, pp 2-83 – 2-85.

8. Método 2540 F “**Sólidos Sedimentables**” Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA, 19th Edition 1995, pp 2-86 – 2-87.
9. Método 5210 “**Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días**” Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA, 19th Edition 1995, pp 5-2 – 5-12.
10. Método 5220 D “**Demanda Química de Oxígeno**” Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA, 19th Edition 1995, pp 5-19 – 5-20.
11. Método 5520 D “**Método Extracción Soxhlet**” Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, USA, 19th Edition 1995, pp 5-52 – 5-54.

**Sitios en Internet consultados:**

1. <http://www.apuntes/aguasresiduales.html> consultada el 1 agosto de 2007
2. <http://docencia.udea.edu.co/bacteriologia/MicrobiologiaAmbiental/microbiologia3.pdf> consultada el 5 de febrero de 2008
3. <http://www.eco-sitio.com.ar/0510contaminacionagua.htm> consultada el 1 de agosto de 2007

4. [http:// www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm](http://www.ehu.es/biomoleculas/1b/enzimas/enz22.htm) consultada el 6 de febrero de 2008
  
5. <http://laguna.fmedic.unam.mx/~evazquez/0403/velocidad%20reaccion%20enzimatica.html> consultada el 20 de abril de 2008



## APÉNDICE

**Tabla XIV.** Modelo de Reducción Progresiva de Demanda Bioquímica de Oxígeno para Descargas al Alcantarillado Público, para entes generadores ya existentes.

<b>Etapas</b>	<b>Uno</b>				
<b>Fecha máxima de cumplimiento</b>	<b>Dos de mayo de dos mil once</b>				
<b>Duración, años</b>	<b>5</b>				
<b>Carga, kg/día</b>	3000≤EG<6000	6000≤EG<12000	12000≤EG<25000	25000≤EG50000	50000≤EG250000
<b>Reducción porcentual</b>	10	20	30	35	50

**FUENTE: Etapa 1 Artículo 26 Acuerdo Gubernativo 236-2006.**



