



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

**CLASIFICACIÓN DEL LODO EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE UN PROCESO DISCONTINUO DE ACUERDO A LA REGULACIÓN *USEPA*  
TÍTULO 40 Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS**

**Márvin Walfredo Tartón Otzoy**

Asesorado por el Ing. José Manuel Tay Oroxom

Guatemala, marzo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CLASIFICACIÓN DEL LODO EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE UN PROCESO DISCONTINUO DE ACUERDO A LA REGULACIÓN USEPA  
TÍTULO 40 Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MÁRVIN WALFREDO TARTÓN OTZOY**

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MANUEL TAY OROXOM

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MARZO 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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

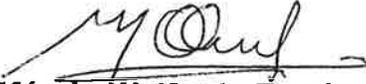
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**CLASIFICACIÓN DEL LODO EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN PROCESO DISCONTINUO DE ACUERDO A LA REGULACIÓN USEPA TÍTULO 40 Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 25 de octubre de 2011.

  
**Márvin Walfredo Tartón Otoy**



Guatemala, 14 de Octubre de 2013

Ingeniero  
Victor Manuel Monzón Valdez  
Director de Escuela de Química  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Victor Monzón

Atentamente me dirijo a usted para notificarle que ha sido concluido satisfactoriamente el Informe Final del Trabajo de Graduación del estudiante Márvin Walfredo Tartón Otzoy, estudiante de la carrera de Ingeniería Química, quien se identifica con carné número 2002-17761, titulado: "CLASIFICACIÓN DEL LODO EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN PROCESO DISCONTINUO DE ACUERDO A LA REGULACIÓN USEPA TÍTULO 40 Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS"

Le informo que después de haber realizado la revisión del respectivo informe y haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular.

  
Ing. José Manuel Tay Oroxom  
Colegiado No. 121  
ASESOR

José Manuel Tay Oroxom  
Ma. Ingeniero Químico  
Colegiado No. 121

---



Guatemala, 14 de noviembre de 2013  
Ref. EI.Q.TG-IF.076.2013

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-252-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

### INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Márvin Walfredo Tartón Otzoy.**

Identificado con número de carné: **2002-17761**

Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

#### CLASIFICACIÓN DEL LODO EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN PROCESO DISCONTINUO DE ACUERDO A LA REGULACIÓN USEPA TÍTULO 40 Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **José Manuel Tay Oroxom.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. Jorge Mario Estrada Asturias  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
ACREDITADO POR  
Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería  
Período 2009 - 2015





Ref.EIQ.TG.022.2014

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **MÁRVIN WALFREDO TARTÓN OTZOY** titulado: "CLASIFICACIÓN DEL LODO EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN PROCESO DISCONTINUO DE ACUERDO A LA REGULACIÓN USEPA TÍTULO 40 Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2014

Cc: Archivo  
VMMV/cle

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

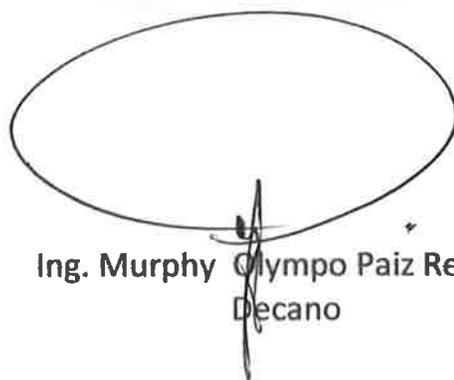


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 110.2014

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: **CLASIFICACIÓN DEL LODO EFLUENTE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UN PROCESO DISCONTINUO DE ACUERDO A LA REGULACIÓN USEPA TÍTULO 40 Y EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOGÁS**, presentado por el estudiante universitario **Márvin Walfredo Tartón Otzoy**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 10 de marzo de 2014

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Fuente de amor, razón de nuestra esperanza y origen de nuestra fe.
<b>Mis padres</b>	Victoriano Tartón Telón y Elisa de Jesús Otzoy Salazar. Por su incondicional apoyo e inspiración.
<b>Mis hermanos y hermanas</b>	Lidia Noemí, Freddy Leonel, Gloria Glendy, y Elmer Tartón Otzoy. Por su valiosa influencia en mi vida y apoyo innegable.
<b>Mis sobrinos</b>	Fernel Icó Tartón, Dani Tartón, Yemner Tartón y Anderson Tartón Ispanco, los que vendrán, por recordarnos que la vida es un milagro y que existe un nuevo comenzar.
<b>Mis amigos</b>	William Xil, Elías Bamaca, Adrian Morales, Corina Gonzáles, Heidy Calderon, Mayra Quemé, Majo Pivaral, Adolfo de la Cruz y tantos más que incidieron en mi vida. Por su amistad, comprensión y desinterés.
<b>Mis abuelos</b>	Apolonio Tartón (q.e.p.d.) Gregoria Telón, Toribio Otzoy y Martina Salazar. Por su ejemplo de vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme un propósito.
<b>Mis padres</b>	Por su amor y apoyo incondicional.
<b>Mis hermanos y hermanas</b>	Por su comprensión y apoyo.
<b>Mis abuelos</b>	Por su vida y ejemplo.
<b>Mis amigos</b>	Por su amistad.
<b>Mis sobrinos</b>	Por haber llegado a mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Tratamiento de aguas residuales.....	5
2.1.1. Tratamiento preliminar.....	5
2.1.2. Tratamiento primario.....	6
2.1.2.1. Floculación.....	6
2.1.2.2. Sedimentación primaria .....	6
2.1.3. Tratamiento secundario.....	7
2.1.4. Tratamiento terciario.....	7
2.2. Tratamiento biológico de los lodos.....	7
2.2.1. Tratamiento aeróbico.....	8
2.2.2. Tratamiento anaerobio.....	8
2.2.2.1. Digestión anaeróbica.....	8
2.2.2.2. Hidrólisis .....	9
2.2.2.3. Acidogénesis .....	10
2.2.2.4. Metanogénesis .....	11

	2.2.2.4.1.	Bacterias formadoras de metano .....	11
	2.2.2.5.	Parámetros de control .....	14
	2.2.2.5.1.	La temperatura .....	14
	2.2.2.5.2.	PH .....	15
	2.2.2.5.3.	Requerimientos nutricionales .....	15
	2.2.2.5.4.	Relación carbono/nitrógeno .....	17
	2.2.2.5.5.	Toxicidad.....	18
	2.2.2.5.6.	Tiempo de retención de lodos.....	19
	2.2.2.6.	Puesta en marcha .....	19
	2.2.2.7.	Tipo de biodigestor anaerobio .....	20
	2.2.2.7.1.	Biodigestor continuo.....	20
	2.2.2.7.2.	Biodigestor discontinuo .....	20
	2.2.2.8.	Productos de la descomposición anaeróbica.....	21
	2.2.2.8.1.	Biogás .....	21
	2.2.2.8.2.	Lodos efluentes.....	22
	2.2.2.9.	Organismos patógenos .....	22
	2.2.2.9.1.	Bacterias patógenas .....	23
	2.2.2.9.2.	Protozoos .....	23
	2.2.2.9.3.	Virus .....	24
	2.2.2.9.4.	Helmintos .....	24
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....		25
3.1.	Variables.....		25

3.1.1.	Variable independiente .....	25
3.1.2.	Variable dependiente .....	26
3.1.3.	Variable respuesta .....	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	28
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	28
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	28
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	29
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	30
3.6.1.	Procedimiento.....	30
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	33
3.8.	Análisis estadístico.....	38
4.	RESULTADOS .....	41
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	49
	CONCLUSIONES .....	57
	RECOMENDACIONES .....	59
	BIBLIOGRAFÍA .....	60
	APÉNDICES .....	65
	ANEXOS .....	77



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Etapas de la descomposición anaerobia.....	9
2.	Diagrama de flujo del procedimiento para la recolección de los datos.....	30
3.	Biogás generado.....	43
4.	Concentración de metano en el biogás como porcentaje en volumen en los análisis realizados.....	44
5.	Datos del modelo de regresión polimomial <i>versus</i> los datos determinados.....	45
6.	Residuos estandarizados <i>versus</i> días.....	45
7.	Biogás máximo y mínimo estimado.....	46
8.	Metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno en el biogás para cada análisis.....	47

### TABLAS

I.	Reacciones de las bacterias formadoras de metano .....	13
II.	Micronutrientes esenciales y concentraciones óptimas aproximadas .....	16
III.	Concentración de inhibición y toxicidad de algunos compuestos .....	18
IV.	Composición del biogás .....	21
V.	Variables independientes .....	25
VI.	Variables dependientes y su descripción .....	26

VII.	Variables respuesta y su descripción .....	27
VIII.	Reducción de bacterias coliformes en los lodos tratados .....	33
IX.	Sólidos volátiles y totales de los lodos sin tratar .....	33
X.	Sólidos volátiles y totales en los lodos tratados.....	34
XI.	Reducción de los sólidos volátiles en los lodos y su desviación estándar.....	34
XII.	Materia orgánica y carbono orgánico total .....	35
XIII.	Volumen teórico de biogás y su relación con el volumen de biogás determinado .....	35
XIV.	Volumen de biogás y su desviación estándar.....	36
XV.	Resultado de la prueba de hipótesis.....	39
XVI.	Clasificación del tipo de lodo .....	41
XVII.	Reducción de sólidos volátiles.....	41
XVIII.	Reducción de bacterias coliformes fecales.....	42
XIX.	Carbono orgánico total en el lodo afluente .....	42
XX.	Volumen de biogás generado .....	43

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Hora
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>l</b>	Litro
<b>Log<sub>10</sub></b>	Logaritmo de base diez
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>mg</b>	Miligramo
<b>mL</b>	Mililitro
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje
<b>PH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>ST</b>	Sólidos totales
<b>SV</b>	Sólidos volátiles
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Sulfuro de hidrógeno



## GLOSARIO

<b>Bacterias anaeróbica-facultativas</b>	Son las bacterias que descomponen la materia orgánica utilizando oxígeno libre u otros compuestos como receptor de electrones.
<b>Bacterias coliformes fecales</b>	Son las bacterias pertenecientes al grupo coliforme que indican contaminación fecal. Producir gas o colonias a una elevada temperatura de incubación (44,5 +/- 0,2 °C por 24 +/- 2 h).
<b>Bacterias formadoras de metano</b>	Es un diverso grupo de bacterias clasificado en el dominio de arqueobacterias que producen metano bajo condiciones libres de oxígeno.
<b>Biodigestor</b>	Es un reactor en el cual la materia orgánica es degradada por microorganismos durante el tiempo que permanece cerrado al ambiente.
<b>Biogás</b>	Es la mezcla de gases en mayor proporción metano y dióxido de carbono generados por un proceso de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.
<b>Carbono Orgánico Total</b>	Es la cantidad de carbono de una variedad de compuestos orgánicos, descompuesta en una simple molécula que puede ser medida cuantitativamente.

<b>Descomposición anaeróbica</b>	Es el proceso en el que los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno en un biodigestor.
<b>Lodos de aguas residuales</b>	Es el lodo obtenido de la sedimentación de las aguas residuales en su proceso de tratamiento primario.
<b>Lodos efluentes</b>	Es el lodo que ha pasado a través de una unidad de tratamiento como por ejemplo la descomposición anaeróbica.
<b>Materia orgánica</b>	Se refiere a la diversidad de compuestos formados por cadenas de carbono los cuales son degradados por microorganismos.
<b>Número más probable de organismos</b>	Es una estimación estadísticamente válida de la densidad media de organismos en este caso coliformes.
<b>Organismos indicadores</b>	Son organismos que están presentes en el agua y/o lodos junto con los organismos patógenos, son objeto de cuantificación para indicar la presencia de patógenos. En Guatemala se utilizan como microorganismos indicadores a las bacterias coliformes y la Escherichia Coli como indicador de contaminación microbiológica y fecal.

<b>Patógenos</b>	Son bacterias, protozoos, virus o helmintos que pueden transmitir enfermedades infecciosas.
<b>Planta de tratamiento de aguas residuales</b>	Son las instalaciones en el que es llevado a cabo el acondicionamiento de las aguas residuales para su uso, reuso o descarga con una calidad aceptable.
<b>Proceso discontinuo</b>	Se refiere a la alimentación y descarga del biodigestor una sola vez durante el tiempo que dure el proceso.
<b>Sólidos totales</b>	Son los residuos obtenidos de una muestra de los lodos calentados a 103-105 grados Celsius el tiempo necesario para obtener un peso constante.
<b>Sólidos volátiles</b>	Es el peso de los sólidos obtenidos de la muestra del lodo después de ser calentado a 550 grados Celsius menos los lodos obtenidos calentados a 105 grados Celsius.
<b>Tanque séptico</b>	Es un tanque de sedimentación primario. Es utilizado como almacenamiento temporal de las aguas residuales generadas en lugares que carecen de alcantarillado.
<b>Tratamiento de lodos</b>	Es el proceso llevado a cabo para la desinfección, y/o reducción de materia orgánica para su uso como fertilizante o su disposición en un lugar adecuado.

**USEPA T. 40**  
**parte 503**

Agencia para la protección del medio ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica (por sus siglas en inglés), Código de regulaciones federales título 40 Protección del medioambiente, parte 503 Estándares para el uso o disposición de lodos de aguas residuales.

## RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos de la clasificación del lodo efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales, en un proceso discontinuo de acuerdo a la regulación *USEPA* título 40 y evaluación del rendimiento del biogás generado.

La clasificación de la calidad del lodo efluente está basada en el cumplimiento de la reducción de coliformes fecales y la reducción de sólidos volátiles en el lodo efluente.

A partir de la medición del volumen de biogás se generó un modelo de regresión polinomial que representa la generación de biogás durante los 123 días que duró el proceso. En la cuantificación de la composición del biogás se utilizó un analizador de biogás BX568 y de sulfuro de hidrógeno BX170.

Se obtuvo una reducción del 99,9 por ciento en la concentración de coliformes fecales y una reducción del 72 +/- 25 por ciento de los sólidos volátiles. Esto permitió que el lodo efluente fuera clasificado como de clase A. La generación de biogás fue de 146 +/-18 metros cúbicos. Y la concentración máxima de metano en el biogás fue de 50 por ciento en volumen.

Con lo cual el lodo efluente obtenido no posee un riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas y tiene limitadas restricciones a considerar en su aplicación como fertilizante según la regulación de referencia. Y los lodos afluentes de aguas residuales de fosas sépticas son una materia prima adecuada al proceso de descomposición anaeróbica.



## OBJETIVOS

### General

Clasificar el lodo efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a su reducción de sólidos volátiles y reducción de coliformes fecales regulado por *USEPA*, cuantificar el contenido de carbono orgánico total, el rendimiento de biogás y el porcentaje de metano obtenido del proceso anaeróbico discontinuo.

### Específicos

1. Clasificar el tipo de lodo conforme a las directrices de *USEPA* título 40 parte 503.
2. Analizar el porcentaje de reducción de sólidos volátiles en los lodos al final del proceso de descomposición anaeróbica.
3. Analizar el porcentaje de reducción de coliformes fecales en los lodos al final del proceso de descomposición anaeróbica.
4. Cuantificar el carbono orgánico total en el lodo cargado al biodigestor.
5. Cuantificar el volumen de biogás generado del biodigestor discontinuo.
6. Cuantificar el porcentaje en volumen de metano en el biogás producido en el biodigestor discontinuo.

## Hipótesis

Los lodos tratados en el proceso de digestión anaeróbica discontinua se clasifican como clase A según *USEPA*, con respecto a la reducción de atracción de vectores.

### Hipótesis nula

Los sólidos volátiles reducidos en los lodos tratados anaeróbicamente en un proceso discontinuo corresponde a la de un lodo clase A: se reduce al menos un 38 por ciento.

### Hipótesis alternativa

Los sólidos volátiles reducidos en los lodos tratados anaeróbicamente en un proceso discontinuo no corresponde a la de un lodo clase A: se reduce menos de un 38 por ciento.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales domésticas tiene a disposición una amplia variedad de métodos de tratamiento físico, biológicos y/o químicos que provocan la remoción de contaminantes. De acuerdo a las características de los efluentes, las regulaciones y necesidades de quien trata los mismo.

En el tratamiento primario de aguas residuales domésticas se sedimentan los lodos. La reducción de la carga orgánica en los lodos involucra comúnmente procesos biológicos: descomposición aeróbica o anaeróbica. Después de su estabilización el uso final es como fertilizante.

Se describe la descomposición anaeróbica de un proceso particular en sus variables mínimas para conseguir mejorar sus resultados. Para ello se utiliza la regulación de referencia título 40 parte 503 de la *USEPA* por sus requerimientos, para minimizar los riesgos de transmisión de enfermedades debido al uso y disposición de los sólidos efluentes de aguas residuales.

El proceso anaeróbico tiene como característica principal la generación de biogás. El biogás producido es generado por diversos tipos de microorganismos, las principales son las bacterias anaeróbico-facultativas formadoras de metano.

El biogás generado tiene como componente más valioso al metano. La purificación del metano incluso permitiría su aprovechamiento como combustible en la generación de electricidad. Esto es posible debido a que en Guatemala puede adquirirse el equipo para su manejo y su mejor

aprovechamiento. Por ello es importante la evaluación del rendimiento de biogás en los lodos provenientes de fosas sépticas. Ya que puede demostrarse su potencial de generación de biogás y obtenerse lodos adecuados para su uso como fertilizante.

Las investigaciones que provean datos relacionados a las aguas efluentes de origen doméstico, como los colectados en tanques sépticos, resultan de importancia cuando se planea su tratamiento y/o disposición. De manera que este estudio también pretende aportar información que pueda resultar valiosa a futuros proyectos.

## 1. ANTECEDENTES

“Louis Mouras of Vesoul en Francia obtuvo la patente de la invención del tanque séptico en 1881”<sup>1</sup>. De los efluentes que entran, los sólidos sedimentados se van acumulando y la fase líquida va siendo evacuada. “Se reporta su introducción en los Estados Unidos de Norteamérica en 1883, en Inglaterra en 1895 y en Sudáfrica en 1898”<sup>2</sup>.

“En 1906 el Dr. Imhoff desarrolló el tanque que lleva su nombre el cual superó las dificultades del tanque séptico”<sup>3</sup>. Este permite la degradación anaerobia de los lodos sedimentados de aguas residuales antes de retirarlos del tanque cada vez que se llenaba; no colectó el metano generado.

“En 1920 en Alemania se crea la primera planta de tratamiento de aguas residuales que colecta el biogás generado y forma parte del sistema de suministro público de gas”<sup>4</sup>.

“Alrededor de 1970, las pequeñas plantas de biogás se instalaron en casas particulares rurales por construcción propia, por primera vez en China, fueron llamadas plantas de energía en el hogar, la materia prima fueron

---

<sup>1</sup> MANG, Heinz-Peter; et al. *Technology review of biogas sanitation.*, p. 4.

<sup>2</sup> Ibid.

<sup>3</sup> McLEAN, Robert. *Honduras wastewater treatment: Chemically enhanced primary treatment and sustainable secondary treatment technologies for use with Imhoff tanks.*, p.19.

<sup>4</sup> KOSSMANN, Werner; et al. *Biogas Digest.*, p. 7.

excretas humanas, residuos de cerdos y residuos vegetales”<sup>5</sup>.

Se describe el sistema de saneamiento de biogás de las residuos fecales –sin orina- basadas en el tratamiento anaeróbico a través de cuatro tipos de unidades de saneamiento anaerobio, con ventajas en términos de recuperación de nutrientes, obtención de biogás entre otros comparado con el tratamiento aerobio. (Mang, H.).

“De los excrementos humanos semisólidos con un contenido de materia orgánica seca m.o.s de 93 por ciento 0,45 metros cúbicos de biogás/kg de m.o.s. o 0,29 metros cúbicos metano/kg m.o.s. o 0,21 kg metano/kg m.o.s. puede ser producido. Dependiendo del tipo de reactor, tiempo de retención y biodegradabilidad cerca del 40 por ciento a 90 por ciento de materia orgánica puede ser convertido en biogás”<sup>6</sup>.

Con relación a la producción de biogás en Guatemala, se han utilizado una diversidad de sustratos, principalmente para la obtención de biogás. Se reporta el uso de las excretas de animales porcinos en granjas. El uso de las aguas residuales domésticas en algunas plantas de tratamiento de aguas residuales. Y a escala familiar el uso de excretas de animales vacunos y/o residuos domésticos (Ciferri, Alberto). Pero no se reporta el uso de lodos de aguas residuales provenientes de fosas sépticas para la producción de metano.

Los datos más relevantes al presente trabajo se relacionan al análisis de las características física, química y microbiológica de lodos provenientes de

---

<sup>5</sup> DIETER, Deublein; et al. *Biogas from waste and Renewable resources.*, p. 578.

<sup>6</sup> MANG, Heinz-Peter; et al. *Technology review of biogas sanitation.*, p. 7.

fosas sépticas. (Galindo, Carlos). Esta caracterización se realizó entre noviembre de 2009 y febrero de 2010. Con ello se realizó una propuesta para su tratamiento a partir de 12 muestras realizadas de diferentes fosas sépticas.

De los resultados se resalta lo siguiente: (a) Se obtuvo una media de sólidos volátiles de 62,9 +/- 17,5 como porcentaje de sólidos totales. (b) Los coliformes fecales reportados son de 3,737 E+10 número más probable / 100 centímetros cúbicos. (c) Con respecto a los metales pesados analizados de 5 muestras correspondientes a este mismo número de lugares, el valor más alto reportado es del plomo y arsénico con  $15,4 \pm 14,1$  y  $5,1 \pm 4,7$  mg/kg respectivamente.

En general, de acuerdo a las características de los lodos se propuso un tratamiento biológico dentro del cual se recomienda un tratamiento anaeróbico para la estabilización de los lodos crudos, lagunas facultativas y patios de secado del lodo. La propuesta indica un proceso de 82 días el cual 56 días corresponden a la retención de lodos en el biodigestor.

De manera que se realizará la caracterización del proceso discontinuo de descomposición anaeróbica de los lodos provenientes de fosas sépticas.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Tratamiento de aguas residuales**

Se refiere a los métodos de tratamiento físico, químico y biológicos que remueven diversos contaminantes, de las aguas empleadas en actividades domésticas y/o industriales, hasta niveles aceptables de acuerdo a su propósito de reuso o disposición. En Guatemala, el tratamiento esta relacionado a su uso doméstico y condicionamiento para su descarga a un cuerpo receptor y no a su reuso. Esta actividad esta condicionada por el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos.

#### **2.1.1. Tratamiento preliminar**

El tamizaje corresponde al pretratamiento encontrado generalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Es usado para retener sólidos encontrados en las aguas residuales afluentes a las instalaciones de la Planta.

Se utilizan para ello rejas y tamices. Las rejas separan objetos de gran tamaño. Se construyen con barras metálicas dispuestas paralelamente. Los tamices remueven arena que pueden dañar el equipo o reducir la efectividad del tratamiento en general.

## **2.1.2. Tratamiento primario**

Constituye la primera etapa del tratamiento, en el cual se remueve la mayor cantidad de sólidos sedimentables y suspendidos de las aguas residuales. Se recurre para ello a diversas unidades de tratamiento sean estas físicas y/o químicas.

### **2.1.2.1. Floculación**

“El término floculación es usado para describir el proceso donde el tamaño de la partícula se incrementa como resultado de la colisión de partículas”<sup>7</sup>. Esto es necesario para formar compuestos más grandes que pueden ser removidos por sedimentación o filtración.

Típicamente se añaden químicos llamados coagulante. “Los coagulantes desestabilizan las partículas coloidales en las aguas residuales de manera que se forman partículas más grandes”<sup>8</sup>. Los típicos coagulantes son sulfato férrico o de aluminio y los poli electrolitos. “Estos neutralizan o disminuyen la carga de las partículas en las aguas residuales”<sup>9</sup>.

### **2.1.2.2. Sedimentación primaria**

El tratamiento por sedimentación consiste en la remoción de sólidos sedimentables y sólidos suspendidos sin el uso de químicos. El agua reposa en el tanque para facilitar su sedimentación por gravedad.

---

<sup>7</sup> TCHOBANOGLOUS, George; et al. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. p. 345.

<sup>8</sup> Ibid.

<sup>9</sup> Op.Cit. p. 379.

La sedimentación también ocurre en la región donde la dirección del flujo de agua cambia bruscamente al chocar con una pared en su recorrido hacia otra unidad de tratamiento. “Eficientemente diseñado y operado el tanque de sedimentación primaria debe remover de 50-70 por ciento de sólidos suspendidos”<sup>10</sup>.

### **2.1.3. Tratamiento secundario**

Los procesos llevados a cabo son predominantemente para remover la mayor cantidad de materia orgánica en solución o suspensión. Se tratan contaminantes orgánicos o inorgánicos reduciéndolos y/o eliminándolos según las necesidades. Los procesos aeróbico o anaeróbico son comunes.

### **2.1.4. Tratamiento terciario**

Son los procesos de remoción de sólidos suspendidos residuales, después del tratamiento secundario, usualmente por filtración de medios granulares o micro filtrado. Los lechos de filtración de arcilla, arena o carbón activado son comunes. En esta etapa se lleva a cabo la desinfección.

## **2.2. Tratamiento biológico de los lodos**

Se refiere a las unidades de tratamiento que emplean microorganismos para la remoción de la materia orgánica y contaminantes diversos del agua; se clasifica principalmente de acuerdo al tipo de bacterias y la configuración del equipo utilizado.

---

<sup>10</sup> TCHOBANOGLOUS, George; et al. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. p. 396.

### **2.2.1. Tratamiento aeróbico**

Es la descomposición de la materia orgánica por una variedad de microorganismos utilizando el oxígeno libre como compuesto oxidante. Este es el proceso llevado a cabo en: lagunas aeróbicas, lodos activados o humedales.

### **2.2.2. Tratamiento anaerobio**

Consiste en la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. “Los compuestos complejos se degradan a compuestos más simples”<sup>11</sup>. Este es el proceso llevado a cabo en: lagunas anaeróbicas o reactores anaeróbicos con diversas configuraciones.

#### **2.2.2.1. Digestión anaeróbica**

Son las reacciones efectuadas por microorganismos en la que un compuesto orgánico es oxidado para obtener energía y producir compuestos simples, sin el uso del oxígeno libre. “Las bacterias que realizan la fermentación son anaeróbicas o anaeróbico-facultativas”<sup>12</sup>.

En la degradación aerobia se obtiene mayor energía que aumenta la temperatura del sustrato. En cambio, “...en la digestión anaeróbica se obtiene poca energía en forma de calor y mayor energía es almacenada en el compuesto formado, el metano”<sup>13</sup>. “La condición anaerobia permite la obtención de menor biomasa que en condiciones aerobias”<sup>14</sup>.

---

<sup>11</sup>JORGENSEN, Peter. *Biogas –green energy*. p. 8.

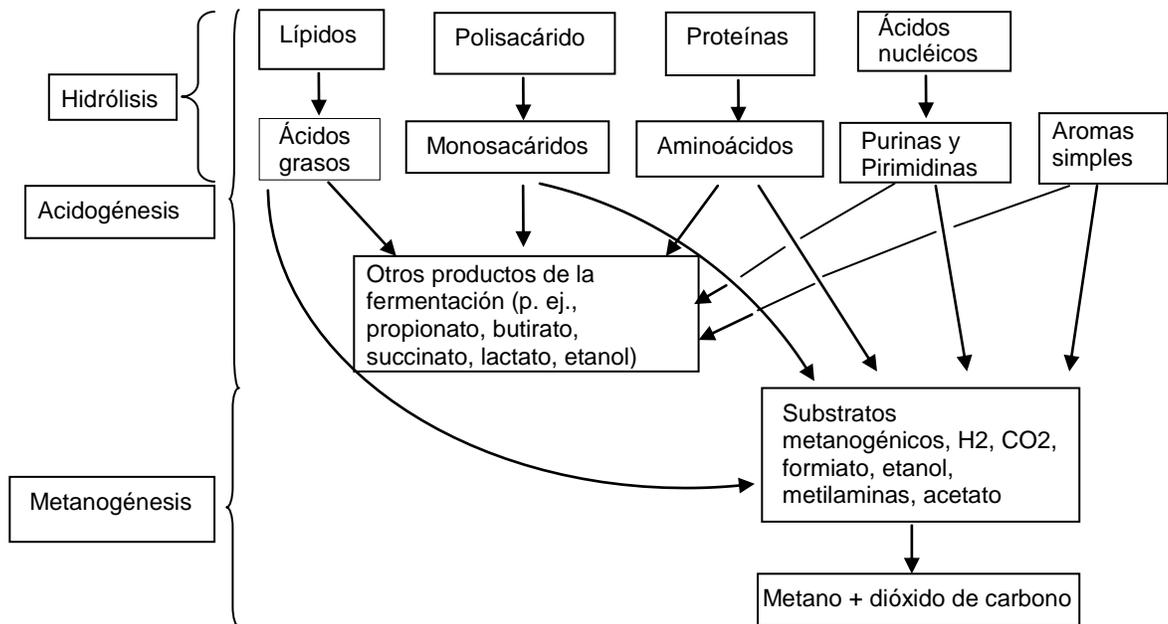
<sup>12</sup>GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. p.43.

<sup>13</sup>SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p.32.

<sup>14</sup>JORGENSEN, Peter. *Biogas –green energy*. p. 8.

El proceso de digestión anaerobia está dividido frecuentemente en tres etapas, como se ve en la figura 1.

Figura 1. **Etapas de la descomposición anaerobia**



Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George; et al. Ingeniería de aguas residuales. p. 631

### 2.2.2.2. Hidrólisis

Es la división de un compuesto que reacciona con agua. “En la digestión anaerobia los compuestos complejos insolubles, partículas y desechos coloidales son sometidos a hidrólisis”<sup>15</sup>. Estos compuestos polímeros son carbohidratos, grasas y proteínas.

<sup>15</sup> GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. p. 51.

Los carbohidratos son polímeros que contienen numerosos monómeros de azúcares simples. Dentro del biodigestor todos los carbohidratos son hidrolizados a azúcares solubles. Por ejemplo: “cuando la celulosa es hidrolizada se forman moléculas de glucosa”<sup>16</sup>.

Las proteínas consisten de una larga cadena de aminoácidos. “Cada proteína tiene una única composición y secuencia de aminoácidos en su cadena. Los aminoácidos contienen un grupo amino (-NH<sub>2</sub>) y un grupo carboxílico (-COOH) y existen 20 diferentes tipos de aminoácidos”<sup>17</sup>.

### **2.2.2.3. Acidogénesis**

“La hidrólisis de proteínas produce los aminoácidos que son convertidos en una variedad de ácidos orgánicos y amoníaco”<sup>18</sup>.

La mayoría de los ácidos orgánicos formados tienen un bajo peso molecular, corta cadena ácida, por ejemplo: formiato, acetato, propionato, y butirato (con 1, 2,3 y 4 unidades de carbono). De estos, “el acetato es el ácido predominante en el digestor anaerobio. Todos los ácidos volátiles son solubles en agua (ácidos orgánicos de bajo peso molecular). Y aproximadamente el 70 por ciento del contenido de ácidos volátiles de un digestor anaerobio es el acetato”<sup>19</sup>.

---

<sup>16</sup> GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. p. 52.

<sup>17</sup> National Academy of Sciences. *Methane generation from human, animal and agricultural wastes*. p. 32.

<sup>18</sup> Ibid.

<sup>19</sup> GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. p. 27.

“Entonces, el acetato es el principal ácido volátil usado como sustrato por las bacterias formadoras de metano. Y muchos de los ácidos y alcoholes producidos como el butirato, propionato y alcohol pueden ser degradados a acetato”<sup>20</sup>.

#### **2.2.2.4. Metanogénesis**

En esta etapa se genera el metano, a partir del acetato, dióxido de carbono, gas de hidrógeno y otro tipo de compuestos. “Todos los productos de la descomposición anaeróbica deben ser convertidos en compuestos que pueden ser usados directamente o indirectamente por las bacterias formadoras de metano”<sup>21</sup>.

“Si esta etapa es inhibida se acumula la producción de ácidos. Un incremento en los ácidos permite una disminución del pH”<sup>22</sup>.

##### **2.2.2.4.1. Bacterias formadoras de metano**

“Son un grupo de organismos diversos que degradan sustratos para producir metano como residuo a través de coenzimas especializadas. Necesitan un ambiente completamente anaerobio”<sup>23</sup>.

---

<sup>20</sup> GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. p. 27.

<sup>21</sup> Op. Cit. p. 17.

<sup>22</sup> Op. Cit. p. 22.

<sup>23</sup> National Academy of Sciences. *Methane generation from human, animal and agricultural wastes*. p. 32.

“Hay aproximadamente 50 especies de bacterias formadoras de metano que son clasificadas en tres órdenes y cuatro familias”<sup>24</sup>.

“El tiempo de reproducción de estas bacterias es de tres días a 35 grados Celsius o 50 días a 10 grados Celsius. Se necesitan al menos 12 días para obtener una gran población”<sup>25</sup>.

“Estas bacterias pueden utilizar compuestos simples para su degradación pero ninguna especie puede utilizar todos los sustratos”<sup>26</sup>. Por lo tanto, una descomposición anaeróbica en un biodigestor, que requiere la presencia de un gran número de bacterias formadoras de metano y una gran diversidad de ellas.

La mayor producción de metano en un reactor anaerobio ocurre por el uso del acetato y el hidrógeno, ver tabla I. “El acetato es comúnmente dividido para formar metano mientras el hidrógeno es combinado con dióxido de carbono para formar metano”<sup>27</sup>.

---

<sup>24</sup> National Academy of Sciences. *Methane generation from human, animal and agricultural wastes*. p. 31.

<sup>25</sup> GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. p. 23.

<sup>26</sup> Op. Cit. p. 24.

<sup>27</sup> Op. Cit. p. 24 y 25.

Tabla I. Reacciones de las bacterias formadoras de metano

Grupos principales de bacterias formadoras de metano	Reacciones	Importancia en la generación de metano
<i>Hidrogenotrophic methanogens</i>	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	cerca del 30%
<i>Acetotrophic Methanogens</i>	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ $4\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$	Aproximadamente 70%
<i>Methylotrophic methanogens</i>	$3\text{CH}_3\text{OH} + 6\text{H} \rightarrow 3\text{CH}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$ $4(\text{CH}_3)_3\text{-N} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 9\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4\text{NH}_3$	
	$4\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CH}_3\text{COOH} + 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_4 + \text{CO}_2$	

Fuente: Gerardi, Michael. The microbiology of anaerobic digester. p. 26, 27.

“La panza de los animales rumiantes, es el órgano especial en el tracto digestivo en el cual la degradación de la celulosa y complejos polisacáridos ocurre”<sup>28</sup>. Esta es la razón por la que el estiércol de ganado es un inoculante común, es fuente de bacterias formadoras de metano.

<sup>28</sup> SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p. 26.

### **2.2.2.5. Parámetros de control**

Son las condiciones del proceso que son requeridas para la descomposición anaeróbica. La manipulación de estos parámetros es de especial interés, ya que permitirían maximizar la energía generada en forma de metano y la remoción de sólidos volátiles del agua en un tiempo mínimo.

#### **2.2.2.5.1. La temperatura**

“El proceso de descomposición anaeróbica opera dentro de tres rangos de temperatura, psicofílico 4-25 grados Celsius, mesofílico 25-40 grados Celsius y termofílico de 40-50 grados Celsius”<sup>29</sup>. “Cada microorganismo tiene una temperatura óptima de crecimiento de acuerdo al ambiente del que se origina”<sup>30</sup>.

Existe una relación directa entre la temperatura y la velocidad con la que se produce el biogás. “Las bacterias son sensibles al cambio brusco de la temperatura”<sup>31</sup>. Por lo cual “...los biodigestores bajo la superficie de la tierra pueden mantener una temperatura más constante a los expuestos al ambiente”<sup>32</sup>.

“El efecto de la temperatura en la primera y segunda etapa del proceso de la digestión (hidrólisis y acidogénesis) no es muy significativo. Ya que siempre hay bacterias que tienen su temperatura óptima dentro del rango que se trate... Las bacterias formadoras de acetato y formadoras de metano

---

<sup>29</sup> SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p. 34.

<sup>30</sup> Op. Cit. p. 10.

<sup>31</sup> Op. Cit. p. 31

<sup>32</sup> KOSSMANN, Werner; et al. *Biogas Digest*. p. 17.

son mucho más sensibles a los cambios de temperatura... una característica importante de las bacterias anaerobias, es que su tasa de descomposición es muy baja a temperaturas inferiores a 15 grados Celsius”<sup>33</sup>.

#### **2.2.2.5.2. PH**

Cada grupo específico de microorganismos pueden crecer dentro de cierto rango de pH. La mayoría de microorganismos prefieren un pH neutral. En el proceso de producción de biogás existe una amplia variedad de bacterias, los organismos ácido formadores toleran un pH más ácido que no pueden tolerar las bacterias formadoras de metano. “Las bacterias formadoras de metano, crecen a un pH neutral de manera óptima 6,8 -7,2, aunque pueden permanecer activas fuera de este rango”<sup>34</sup>.

“El pH de un sistema anaeróbico se suele mantener dentro de los límites metanogénicos para evitar el predominio de las bacterias ácido-formadoras, que puede causar la acumulación de ácidos grasos volátiles”<sup>35</sup>.

#### **2.2.2.5.3. Requerimientos nutricionales**

Desde el punto de vista de la composición química de las células, se distinguen entre: macro elementos: carbono, nitrógeno, fósforo, contenidos en todos los microorganismos y micro elementos: zinc, cobre, níquel entre otros”<sup>36</sup>.

---

<sup>33</sup> RAJESHWARI, K; et al. *State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment*. p.142.

<sup>34</sup> Ibid.

<sup>35</sup> Ibid.

<sup>36</sup> SCHLEGEL, Hans. *Microbiología General*. p. 193.

“Varios microorganismos requieren suplementos o factores de crecimiento, se trata de algunas sustancias que pertenecen a los componentes básicos de la célula y que no pueden sintetizarse a partir de componentes más sencillos. Los factores de crecimiento pertenecen a tres grupos de sustancias, los aminoácidos, las purinas y pirimidinas así como las vitaminas. Los aminoácidos, purinas y pirimidinas son componentes de las proteínas, los ácidos nucleídos y la célula los requiere en las cantidades correspondientes; las vitaminas por el contrario son componentes de enzimas o coenzimas y tienen por ello funciones enzimáticas o catalíticas y se utilizan únicamente en cantidades muy pequeñas”<sup>37</sup>.

“Los elementos trazas son importantes para la estabilidad del proceso y la producción de biogás... no existe una fórmula de composición óptima”<sup>38</sup>. (ver tabla II).

Tabla II. **Micronutrientes esenciales y concentraciones óptimas aproximadas**

<b>Micronutriente esencial</b>	<b>Concentración optima g/m<sup>3</sup></b>
Bario	0,050
Hierro	0,200
Calcio	0,030
Cobalto	0,005
Magnesio	0,020
Molibdeno	0,005
Níquel	0,010

Fuente: Jorgensen, Peter. Biogas –green energy. p. 12.

<sup>37</sup> SCHLEGEL, Hans. *Microbiología General*. p. 194.

<sup>38</sup> SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p. 9.

“El hierro, níquel, y cobalto son partes vitales de importantes enzimas en organismos anaerobios. Las bacterias formadoras de metano tienen relativamente alta concentración interna de ellos”<sup>39</sup>.

#### **2.2.2.5.4. Relación carbono/nitrógeno**

El valor óptimo de esta relación no está categóricamente establecido, atendiendo al número de autores que la citan, esta relación tiene un rango de 20-30/1. El carbono es utilizado como fuente de energía; mientras que con el nitrógeno se forma la estructura celular y las proteínas. Una concentración alta de nitrógeno permite la formación de amoníaco, lo que aumenta el pH y puede inhibir la actividad de las bacterias formadoras de metano.

El nitrógeno es creado durante la descomposición de las proteínas y es esencial para el crecimiento bacteriano. Pero “El amoníaco generado durante la descomposición bacteriana, en altas concentraciones es altamente tóxico para las bacterias”<sup>40</sup>. En una solución acuosa el amoníaco está en equilibrio con el amonio. Y puesto que el amonio no es tan tóxico como el amoníaco este equilibrio es importante y está determinado por el pH y la temperatura.

---

<sup>39</sup> RAJESHWARI, K; et al. *State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment*. p. 143.

<sup>40</sup> JORGENSEN, Peter. *Biogas -green energy*. p 12.

### 2.2.2.5.5. Toxicidad

Muchas sustancias pueden inhibir el proceso de generación de biogás y usualmente las bacterias formadoras de metano son las más sensitivas. “Los microorganismos no pueden recuperarse de los efectos inhibitorios”<sup>41</sup>.

“Los metales parecen tener un efecto inhibitorio porque ellos interfieren con los sistemas de enzimas de los microorganismos por unirlos a diferentes grupos de enzimas. Aunque bajas concentraciones de ciertos metales son importantes para la actividad de organismos productores de metano y sus enzimas”<sup>42</sup>. Ver tabla III.

Tabla III. **Concentración de inhibición y toxicidad de algunos compuestos**

Compuesto	Concentración de inhibición	Nivel de toxicidad
Amoniaco NH <sub>3</sub>	50-100 mg N/L	100-200 mg N/L
Amoniaco total NH <sub>4</sub> + NH <sub>3</sub>	1 000-6 000 mg N/L	10 000 mg N/L (pH < 7,5)
Cloruro [Cl <sup>-1</sup> ]	< 8 000 mg/L	10 000 mg/L
Cobre [Cu <sup>+3</sup> ]	10-250 mg/L	
Cromo [Cr <sup>+3</sup> ]	50-100 mg/L	200-400 mg/L
Niquel [Ni <sup>+2</sup> ]	100-200 mg/L	300-1 000 mg/L
Calcio [Ca <sup>+2</sup> ]	8 000 mg/L	
Sulfato [SO <sub>4</sub> <sup>+2</sup> ]	500-4 000 mg/L	

Fuente: Jorgensen, Peter. *Biogás -green energy*. p. 14.

<sup>41</sup> SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p. 75.

<sup>42</sup> Op. Cit. 76.

#### **2.2.2.5.6. Tiempo de retención de lodos**

Es el tiempo que permanecen los lodos en el digestor desde su carga hasta su descarga. Conforme el tiempo de permanencia aumenta la descomposición también. En un proceso tipo discontinuo este tiempo corresponde al tiempo de operación.

#### **2.2.2.6. Puesta en marcha**

El arranque de un digestor consiste en la adición de bacterias que harán posible la degradación anaerobia, a través de materia orgánica apropiada, "...se agrega al digestor:

- bacterias metano-formadoras y
- bacterias anaeróbico-facultativas y anaeróbicas"<sup>43</sup>.

Esto se realiza cada vez que se carga el reactor discontinuo. "El estiércol de vaca es sin duda un sustrato apropiado, porque contiene todos los organismos necesarios para la producción de metano"<sup>44</sup>. Pueden utilizarse lodos provenientes de condiciones anaerobias (lodos sedimentados de las plantas de tratamiento de aguas residuales, lodos de otros digestores). También, "...es adecuada la adaptación de los microorganismos a un sustrato y las condiciones similares a las del digestor en el que se agregará"<sup>45</sup>.

---

<sup>43</sup> GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. p. 81.

<sup>44</sup> Op. Cit. 83.

<sup>45</sup> SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p. 26.

### **2.2.2.7. Tipo de biodigestor anaerobio**

Es la configuración del equipo en el que se lleva a cabo el proceso de descomposición anaeróbica. Las variaciones van en función del afluente y se refieren al tiempo de residencia, contenido de materia orgánica, la dirección del flujo del afluente, la adición de secciones para la recolección de los productos.

#### **2.2.2.7.1. Biodigestor continuo**

En este proceso el sustrato es alimentado y descargado continuamente, y "...es adecuada para sustratos de forma líquida que tienen un bajo contenido de sólidos tales como aguas residuales municipales o industriales"<sup>46</sup>.

#### **2.2.2.7.2. Biodigestor discontinuo**

Consiste en una cámara o tanque cerrada al ambiente. "Opera en un ciclo en el que se carga el sustrato, se descompone la materia orgánica y se descarga. Se inicia otro ciclo cuando se alimenta de nuevo el biodigestor"<sup>47</sup>.

Se necesita realizar buen acondicionamiento del sustrato (tamaño del sustrato), condiciones fisicoquímicas (pH, temperatura, nutrientes), agua e inoculación, condiciones anaerobias al inicio de cada ciclo. De ello depende el rendimiento del digestor.

---

<sup>46</sup> SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p. 28.

<sup>47</sup> Op. Cit. p. 29.

### 2.2.2.8. Productos de la descomposición anaeróbica

Se genera biogás y sólidos sedimentables. En el biogás se encuentran presentes una variedad de gases y los sólidos son minerales oxidados, subproducto de la acción metabólica de los microorganismos a partir de materia orgánica.

#### 2.2.2.8.1. Biogás

“Es una mezcla de gases principalmente metano y dióxido de carbono generado de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica. La composición de esta mezcla depende de la sustancia descompuesta”<sup>48</sup>. Ver tabla IV.

Tabla IV. Composición del biogás

Gas	[%]
Metano (CH <sub>4</sub> )	55-70
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	30-45
Hidrógeno (H <sub>2</sub> ) Sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	} 1-2
Monóxido de carbono (CO)	Trazas
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	Trazas
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	Trazas

Fuente: Jorgensen, Peter. *Biogás –green energy*. p. 4.

<sup>48</sup> JORGENSEN, Peter. *Biogas -green energy*. p. 4.

#### **2.2.2.8.2. Lodos efluentes**

Ningún nutriente es perdido en el proceso, la misma cantidad de nutrientes que entran en el biodigestor discontinuo es la misma disponible en los lodos efluentes. Por cuanto del biodigestor salen principalmente metano y dióxido de carbono, los cuales están compuestos de carbón, hidrógeno, oxígeno. Las macromoléculas son degradadas a compuestos más simples. “El nitrógeno contenido en las proteínas forma el amonio, nitritos y nitratos al final del proceso”<sup>49</sup>. “Los nutrientes presentes en el sustrato han sido utilizados por los microorganismos para la construcción celular y su utilización en sus funciones metabólicas”<sup>50</sup>.

Los agentes infecciosos como bacterias, virus y parásitos están presentes en el sustrato con el que se alimenta al biodigestor.

#### **2.2.2.9. Organismos patógenos**

Son organismos capaces de transmitir enfermedades. Los organismos patógenos encontrados en aguas residuales pueden ser excretados por seres humanos y animales con enfermedades infecciosas. El número de organismos patógenos al cual los humanos deben estar expuestos para volverse infectado, depende del organismo y el estado de salud del individuo expuesto.

“Los patógenos son asociados primariamente con los sólidos insolubles. El tratamiento primario de aguas residuales concentra los sólidos, que tienen una alta cantidad de patógenos que las aguas residuales que entran”<sup>51</sup>.

---

<sup>49</sup> SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas*. p. 99.

<sup>50</sup> Op. Cit. p. 8 y 9.

<sup>51</sup> USEPA, *Control of Pathogens and vector attraction in sewage sludge*. p. 8.

El tratamiento y el adecuado manejo de sólidos, son efectivos en la prevención de la transmisión de patógenos que pueden causar enfermedades infecciosas.

Los organismos patógenos pueden ser clasificados en cuatro categorías: bacterias, virus, protozoos y helmintos.

#### **2.2.2.9.1. Bacterias patógenas**

Los organismos bacterianos patógenos de origen humano típicamente causan enfermedades del tracto intestinal. “Algunas de las bacterias infecciosas encontradas en aguas residuales domésticas no tratadas son salmonella, shigella, vibrio cholerae, Escherichia coli entre otras”<sup>52</sup>. Las bacterias coliformes fecales son las bacterias indicadoras de rutina.

#### **2.2.2.9.2. Protozoos**

“La reducción de protozoos puede ser de ½ logaritmo de base 10 en algunos procesos de tratamiento de lodos. Aunque el compostaje puede reducir de 2 a 4 logaritmos de base 10, probablemente por la temperatura que alcanza durante el proceso”<sup>53</sup>. “Dos tipos de protozoos *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*, fueron estudiados en 6 plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Guatemala y se determino que el tratamiento del agua es efectivo para removerlos satisfactoriamente a niveles no detectables”<sup>54</sup>.

---

<sup>52</sup> TCHOBANOGLIOUS, George; et al. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. p. 111.

<sup>53</sup> USEPA, *Control of Pathogens and vector attraction in sewage sludge*. p. 11.

<sup>54</sup> ÁLVAREZ, Maricruz; LÓPEZ, María. *Evaluación de la calidad microbiológica del agua de las plantas de tratamiento de agua que surten la ciudad de Guatemala*. p. 20.

### **2.2.2.9.3. Virus**

“Existen más de 100 diferentes tipos de virus entéricos capaces de producir infecciones o enfermedades que son excretados por los seres humanos. Los enterovirus son de especial consideración para la salud”<sup>55</sup>. Para que los lodos sean considerados no peligrosos en su uso o disposición *USEPA* norma la concentración de virus entéricos, requiere concentraciones menores a 1 (unidades formadoras de placa) por 4 gramos de sólidos totales en peso seco e igual concentración de huevos de helmintos viables. En Guatemala los análisis para la detección de virus en las plantas de tratamiento de aguas, no se utilizan de manera rutinaria principalmente por lo complicado y costoso.

### **2.2.2.9.4. Helmintos**

“Los helmintos tienen el más largo tiempo de supervivencia, consecuentemente la duración de algunos de los sitios de restricción están basados en el potencial de supervivencia de helmintos”<sup>56</sup>.

“Es el término usado para describir a los gusanos como colectivo. Los huevos también son encontrados, en las aguas residuales, están presentes algunas especies como organismo adulto o larva pero principalmente están presentes como huevos. Algunos huevos de helmintos son muy resistentes al estrés ambiental y puede sobrevivir a procedimiento de desinfección usuales. La desinfección con cloro y la digestión anaeróbica no son efectivas para inactivar muchos huevos de helmintos”<sup>57</sup>.

---

<sup>55</sup> TCHOBANOGLIOUS, George; et al. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. p. 114.

<sup>56</sup> USEPA, *Control of Pathogens and vector attraction in sewage sludge*. p. 16.

<sup>57</sup> TCHOBANOGLIOUS, George; et al. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. p. 113.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Son los parámetros del proceso que pueden o no adquirir diversos valores durante el mismo. Por cuanto este estudio no es experimental sino descriptivo, no existen variables a manipular que evalúen su efecto.

##### 3.1.1. Variable independiente

Se refiere a la variable que tienen un efecto directo en el proceso y su resultado. Su manipulación se debe a la necesidad de cuantificar la modificación que esta produce en el resultado. Por la naturaleza del presente estudio, no se manipula ninguna variable.

Tabla V. Variables independientes

No.	Variable	Unidades	Descripción
1	Temperatura	°C	La temperatura ambiental.
2	Tiempo de retención del lodo	Días	La duración del proceso fue de 123 días.
3	Materia orgánica	kg	La materia orgánica en los lodos afluentes.
4	PH	Unidad	El pH del lodo afluente.

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Variable dependiente

Son los valores de los parámetros modificados por las variables independientes. En un estudio experimental estas variables pueden ser cuantificables directamente o indirectamente a través de la medición de las variables respuesta. En este estudio éstas son las variables de interés.

Tabla VI. **Variables dependientes y su descripción**

No.	Variables	Unidades	Descripción
1	Sólidos volátiles reducidos	Porcentaje [%]	Es la reducción de los sólidos volátiles en los sólidos totales dividido por los sólidos volátiles en el lodo afluente.
2	coliformes fecales reducidos	Porcentaje [%]	Es la reducción de bacterias coliformes fecales del lodo afluente.
3	Volumen de biogás	Metro cúbico [m <sup>3</sup> ]	Es el volumen de biogás generado durante los 123 días que duró el proceso.
4	Concentración de metano	Porcentaje en volumen [%]	Es la concentración máxima medida de metano en el biogás.

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Variable respuesta

Son los parámetros que se miden al final del experimento como resultado directo de las variables independientes, pero que no necesariamente son los parámetros de interés. A través de la medición de una variable respuesta se puede cuantificar la variable dependiente de interés. Aquí la variable dependiente coincide con las variables respuesta.

Tabla VII. **Variables respuesta y su descripción**

No.	Variable	Unidades	Descripción
1	Concentración de metano	Porcentaje [%]	Medido con una analizador de biogás BX568.
2	Volumen de biogás	Metro cúbico por día [m <sup>3</sup> /día]	Medido con una bolsa especial con una capacidad de medio metro cúbico.
3	Reducción de sólidos volátiles	Porcentaje [%]	Analizado por el Laboratorio de Investigación química y ambiental, USAC.
4	Reducción de coliformes fecales	Porcentaje [%]	Analizada por el Laboratorio Microbiológico de la Facultad de Química y Farmacia, USAC.

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

Se estudió un digestor de lodos discontinuo de 31 metros cúbicos de capacidad, ubicado en una planta de tratamiento de aguas residuales en Palín, Escuintla, y se llevó a cabo al inicio de octubre de 2011 hasta el final de enero de 2012.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Son las personas involucradas directamente en la recolección de los datos requeridos en el presente estudio, aunque el responsable único sea el autor. Estos son:

- Investigador
- Un trabajador de la planta

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Estos materiales fueron mínimos, aunque insuficientes para un control permanente y sostenido del proceso ya que se requiere equipo específico. Los siguientes recursos fueron instalados como parte del sistema de recolección de biogás:

- Bolsa especial de ½ metro cúbico de capacidad,
- Tubos PVC de 1 pulgada, manguera y accesorios varios,
- Manómetro

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

La descripción del resultado del proceso de descomposición anaeróbica, requiere que los parámetros sean cuantificados. De manera que la técnica es cuantitativa y no es adecuada una descripción cualitativa.

Se reportan los resultados de los análisis fisicoquímicos efectuados a cuatro muestras representativas de los lodos cargados al biodigestor, e igual número de muestras de los lodos digeridos (ver anexo)

Se reporta el porcentaje de metano y dióxido de carbono en el biogás al igual que las partes por millón de sulfuro de hidrógeno en el biogás.

También, se reporta el volumen de biogás cuantificado a partir del volumen de biogás medido generado durante ocho horas diarias, que representan el comportamiento de la generación del biogás durante los 123 días que duró el proceso.

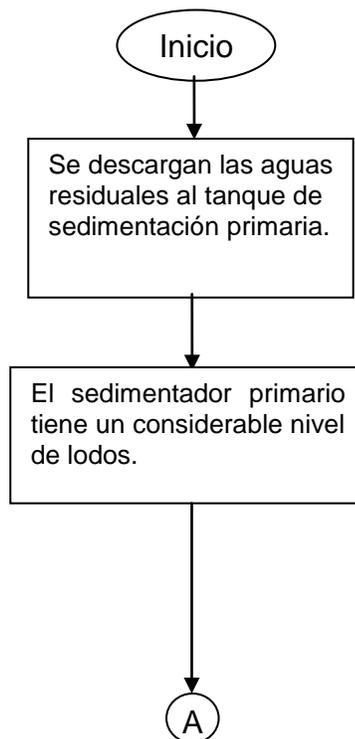
### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La información necesaria requerida para cumplir los objetivos específicos planteados, se recolecta al principio, durante y al final del proceso. Esta información procede de la cuantificación de los parámetros de interés.

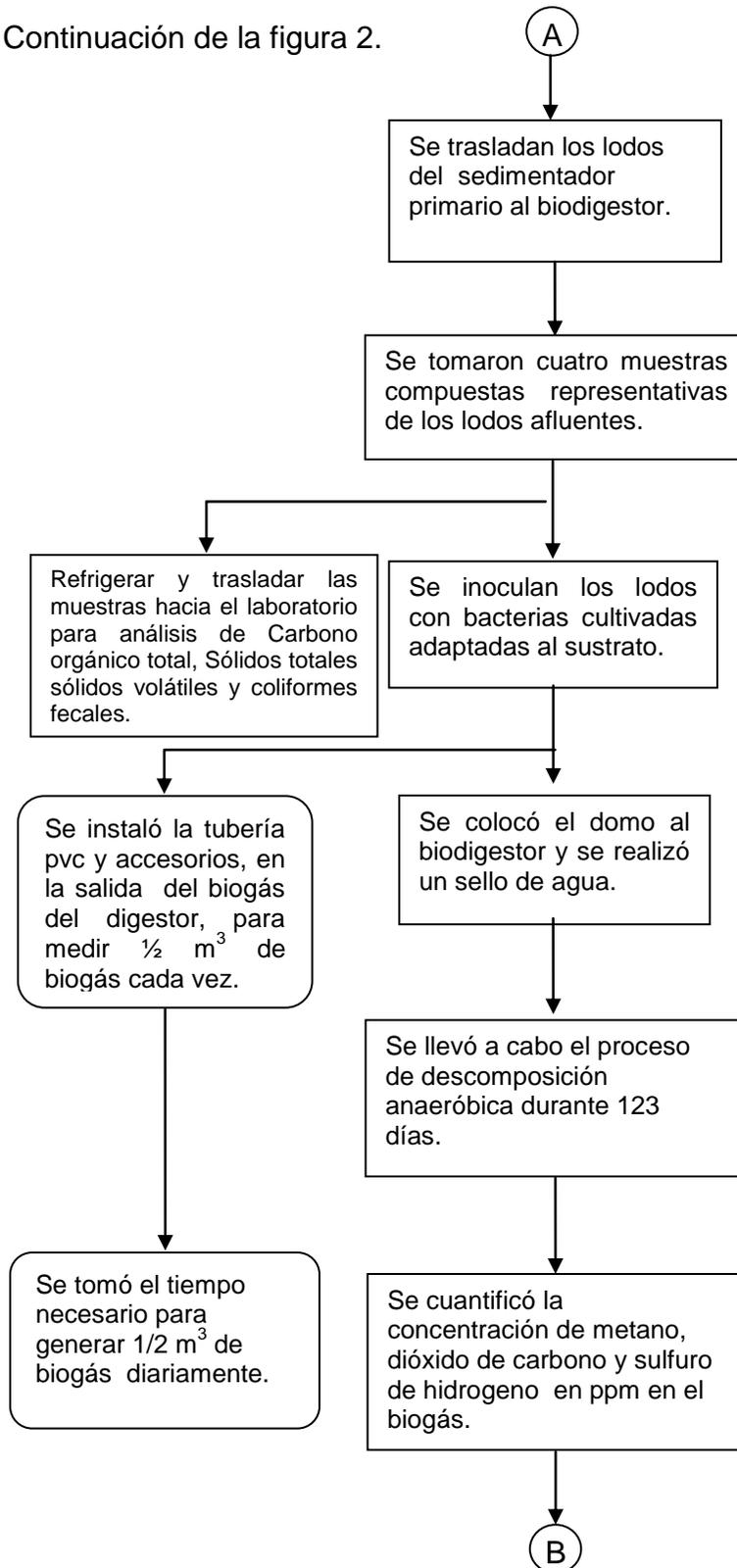
#### 3.6.1. Procedimiento

Se muestra un diagrama de flujo, que indica el procedimiento general realizado durante todo el proceso de descomposición anaeróbica objeto de estudio. Este resalta los aspectos relevantes al presente estudio.

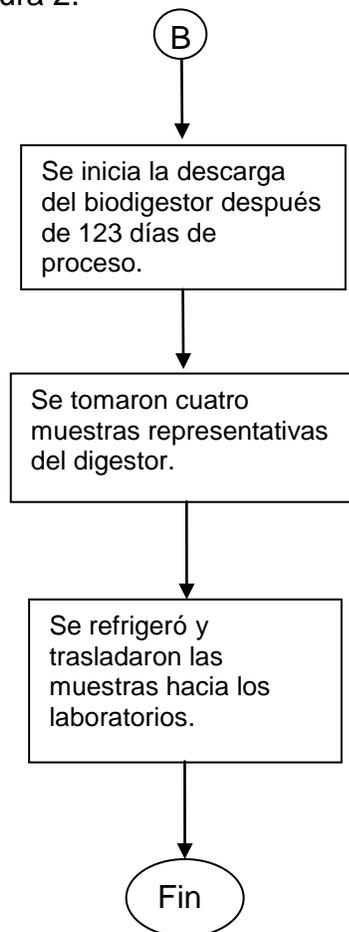
Figura 2. **Diagrama de flujo del procedimiento para la recolección de los datos**



Continuación de la figura 2.



Continuación de la figura 2.



Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos obtenidos del laboratorio y del biogás, fueron procesados estadísticamente y ordenados de acuerdo al orden de los objetivos planteados. Las tablas incluidas contienen la información necesaria para entender los resultados y están basadas en los datos experimentales obtenidos.

Tabla VIII. **Reducción de bacterias coliformes en los lodos tratados**

	Lodos sin tratar		Lodos tratados		Reducción bacteriana	
	NMP/ 100 mL	NMP/ g peso seco	NMP/ 100 mL	NMP/ g peso seco	[%]	Log <sub>10</sub>
Coliformes Totales	7,2*10 <sup>3</sup>	922	< 2	< 0,3	99,9	3,0
Coliformes Fecales	1,6*10 <sup>3</sup>	205	< 2	< 0,3	99,9	2,3

Fuente: análisis de laboratorio y datos calculados.

Tabla IX. **Sólidos volátiles y totales de los lodos sin tratar**

Ubicación en el biodigestor	Humedad	Sólidos volátiles a 550 °C		Sólidos totales a 103-105 °C	
		[mg/L]	± [mg/L]	[mg/L]	± [mg/L]
Superficie	75	96 482	11 239	226 532	10 875
Media	92	16 237	7 054	38 360	26 074
Fondo	91	63 562	4 445	71 736	4 193

Fuente: análisis de laboratorio.

Tabla X. **Sólidos volátiles y totales en los lodos tratados**

Ubicación en el biodigestor	Sólidos volátiles a 550 °C		Sólidos totales a 103-105 °C	
	[mg/L]	± [mg/L]	[mg/L]	± [mg/L]
Superficie	28 600	2 279	208 538	20 926
Media	32 230	1 657	219 949	11 016
Fondo	32 311	1 983	219 671	24 995

Fuente: análisis de laboratorio.

Tabla XI. **Reducción de los sólidos volátiles en los lodos y su desviación estándar**

Ubicación en el biodigestor	Lodo sin tratar		Lodo tratado		Reducción de sólidos volátiles
	Sólidos volátiles/ Sólidos totales	Desviación estándar	Sólidos volátiles/ Sólidos totales	Desviación estándar	
Superficie	0,43	0,05	0,14	0,02	0,68
Media	0,42	0,34	0,15	0,01	0,65
Fondo	0,89	0,08	0,15	0,02	0,83
Promedio	0,58	0,12	0,14	0,01	0,72 ± 0,25

Fuente: análisis de laboratorio y datos calculados.

Tabla XII. **Materia orgánica y carbono orgánico total**

Ubicación en el biodigestor	Materia orgánica (peso seco)		Carbono orgánico total (peso seco)	
	[%]	[%]	[%]	[%]
Superficie	48	3	28	2
Media	26	3	15	2
Fondo	59	4	34	2

Fuente: análisis de laboratorio.

Tabla XIII. **Volumen teórico de biogás y su relación con el volumen de biogás determinado**

Ubicación en el biodigestor	Carbono total	Carbono disponible	Biogás calculado del lodo digerido	Desviación estándar	Biogás determinado	Biogás determinado / teórico
	[kg]	[kg]	[m <sup>3</sup> ]	± [m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[%]
Superficie	946	810	1 649	391	146	17 ± 5
Media	45	39	79	65		
Fondo	449	384	782	212		
Promedio			837	223		

Fuente: datos calculados.

Tabla XIV. **Volumen de biogás y su desviación estándar**

<b>Fecha</b>	<b>Día del proceso</b>	<b>Biogás medido</b>	<b>Biogás calculado</b>	<b>Total biogás</b>	<b>Desviación estándar</b>
	No.	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	± [m <sup>3</sup> ]
10/10/2011	11	0,5	0,1	0,6	0,0
11/10/2011	12	0,5	0,2	0,7	0,0
12/10/2011	13	1,0	0,4	1,4	0,2
13/10/2011	14	1,0	0,5	1,5	0,2
14/10/2011	15	1,0	0,6	1,6	0,2
17/10/2011	18	1,0	0,6	1,6	0,2
18/10/2011	19	1,0	0,7	1,7	0,2
19/10/2011	20	1,5	0,3	1,8	0,4
21/10/2011	22	1,0	0,4	1,4	0,2
24/10/2011	25	1,0	0,3	1,3	0,2
25/10/2011	26	1,5	0,3	1,8	0,3
26/10/2011	27	1,5	0,4	1,9	0,4
27/10/2011	28	1,5	0,3	1,8	0,3
28/10/2011	29	1,5	0,6	2,1	0,4
31/10/2011	32	1,5	0,6	2,1	0,4
01/11/2011	33	1,5	0,5	2,0	0,4
02/11/2011	34	1,5	0,7	2,2	0,3
04/11/2011	36	1,5	0,8	2,3	0,5
07/1/2011	39	1,5	0,7	2,2	0,3
08/11/2011	40	1,5	0,5	2,0	0,4
09/11/2011	41	1,5	0,6	2,1	0,4

Continuación de la tabla XIV.

10/11/2011	42	1,5	0,6	2,1	0,4
11/11/2011	43	1,5	0,3	1,8	0,3
14/11/2011	46	1,5	0,4	1,9	0,4
15/11/2011	47	1,5	0,3	1,8	0,3
16/11/2011	48	1,5	0,3	1,8	0,2
17/11/2011	49	1,5	0,4	1,9	0,2
22/11/2011	54	1,5	0,3	1,8	0,4
23/11/2011	55	1,0	0,7	1,7	0,2
24/11/2011	56	1,0	0,6	1,6	0,2
25/11/2011	57	1,0	0,6	1,6	0,2
28/11/2011	60	1,0	0,3	1,3	0,2
29/11/2011	61	1,0	0,2	1,2	0,2
30/11/2011	62	0,5	0,7	1,2	0,2
01/12/2011	63	1,0	0,3	1,3	0,2
02/12/2011	64	0,5	0,8	1,3	0,1
05/12/2011	67	0,5	0,7	1,2	0,1
06/12/2011	68	1,0	0,2	1,2	0,2
07/12/2011	69	1,0	0,2	1,2	0,1
08/12/2011	70	1,0	0,1	1,1	0,1
09/12/2011	71	1,0	0,2	1,2	0,1
12/12/2011	74	1,0	0,1	1,1	0,1
13/12/211	75	1,0	0,1	1,1	0,1
14/12/2011	76	0,5	0,5	1,0	0,0
15/12/2011	77	0,5	0,5	1,0	0,0
16/12/2011	78	0,5	0,4	0,9	0,1
19/12/2011	81	0,5	0,5	1,0	0,1

Continuación de la tabla XIV.

17/01/2012	110	0,5	0,5	1,0	0,1
18/01/2012	111	0,5	0,3	0,8	0,0
19/01/2012	112	0,5	0,3	0,8	0,1
20/01/2012	113	0,5	0,3	0,8	0,0
21/01/2012	114	0,5	0,3	0,8	0,0
22/01/2012	115	0,5	0,4	0,9	0,1
24/01/2012	117	0,5	0,4	0,9	0,1
25/01/2012	118	0,5	0,3	0,8	0,0
27/01/2012	120	0,5	0,2	0,7	0,0
28/01/2012	121	0,5	0,4	0,9	0,0
29/01/2012	122	0,5	0,1	0,6	0,0
30/01/2012	123	0,5	0,1	0,6	0,0

Fuente: datos medidos y calculados.

### 3.8. Análisis estadístico

Se utilizó el estadístico T de la distribución *t de student* para aceptar la hipótesis nula. Este estadístico corresponde a un número de muestras menor a 30; un número mayor de muestras correspondería al estadístico Z correspondiente a una distribución normal. Criterio para aceptar la hipótesis nula:

- Se seleccionó la probabilidad del error tipo I  $\alpha = P\{\text{error tipo I}\} = P\{\text{rechazar } H_0/H_0 \text{ es verdadera}\} = 0,05$ ,
- Se encontró el valor estadístico crítico  $t_{\alpha}$  a un  $\alpha = 0,05\%$  el valor de  $t_{\alpha} = -2,92$  con dos grados de libertad y por lo tanto un número de muestras de  $n = 3$ ,
- Se calculó el estadístico de la prueba  $t = 6,1$ ,

- Se comparó el estadístico de la prueba t con el estadístico crítico para concluir.

Tabla XV. Resultado de la prueba de hipótesis

<b>Reducción de Sólidos Volátiles</b>	<b><i>T Student</i></b>			
Obtenido [ $\mu$ ] 0,72	Calculada 6,1	<b>Criterio de rechazo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Conclusión</b>
Requerido [ $\mu_0$ ] 0,38	Crítica -2,92	t Calculada $\leq$ -t crítica	$H_0: \mu = \mu_0$ $H_a: \mu \leq \mu_0$	Hipótesis nula aceptada

Fuente: datos calculados.



## 4. RESULTADOS

Estos datos están tomados de la sección de tabulación ordenamiento y procesamiento de la información, y cada tabla contiene el resultado correspondiente a cada objetivo específico planteado.

Tabla XVI. **Clasificación del tipo de lodo**

<b>Requerimiento de USEPA título 40, parte 503,33 para un lodo clase A</b>	<b>Reducción de sólidos volátiles obtenido en el lodo tratado</b>	<b>Clasificación del tipo de lodo después del tratamiento</b>
Reducción de sólidos volátiles $\geq 38\%$	$72 \pm 25\%$	Clase A

Fuente: datos calculados y reglamento de referencia.

Tabla XVII. **Reducción de sólidos volátiles**

<b>Concentración inicial de sólidos volátiles (lodo sin tratamiento)</b>	<b>Concentración final de sólidos volátiles (lodo tratado)</b>	<b>Reducción de los sólidos volátiles en el lodo</b>
$58 \pm 14\%$	$14 \pm 2\%$	$72 \pm 25\%$

Fuente: datos de laboratorio y calculados.

Tabla XVIII. **Reducción de bacterias coliformes fecales**

<b>Concentración de bacterias coliformes fecales (lodo sin tratamiento)</b>	<b>Concentración de bacterias coliformes fecales (lodo tratado)</b>	<b>Porcentaje de reducción</b>
205 NMP/g de lodo peso seco	0,3 NMP/g de lodo peso seco	99,9%

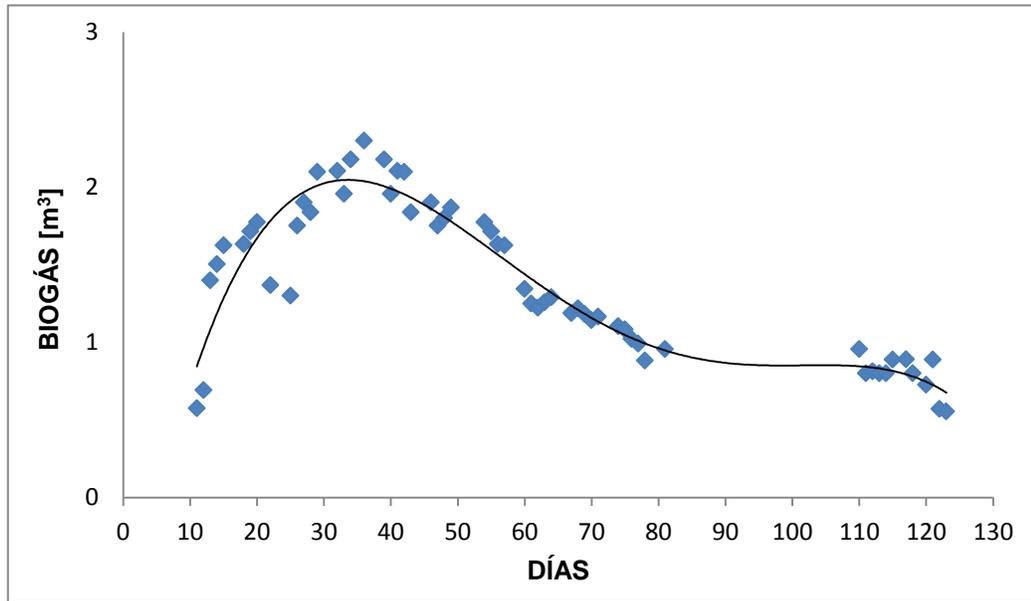
Fuente: datos de laboratorio.

Tabla XIX. **Carbono orgánico total en el lodo afluente**

<b>Carbono orgánico total en el lodo afluente</b>
480 ± 74 kg

Fuente: datos calculados.

Figura 3. **Biogás generado**



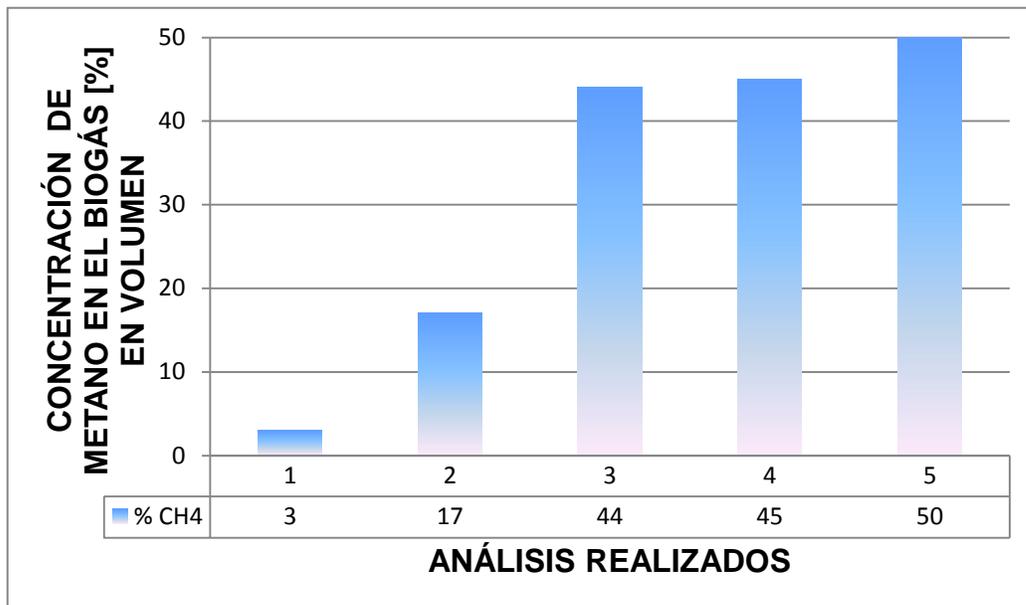
Fuente: elaboración propia a partir de mediciones y cálculos.

Tabla XX. **Volumen de biogás generado**

<b>Modelo de regresión polinomial elegido</b>	<b>Volumen de biogás cuantificado</b>
$-1,7 \cdot 10^{-7} x^4 + 0,000054x^3 - 0,0058x^2 + 0,24x - 1,11$	$146 \pm 18 \text{ m}^3$

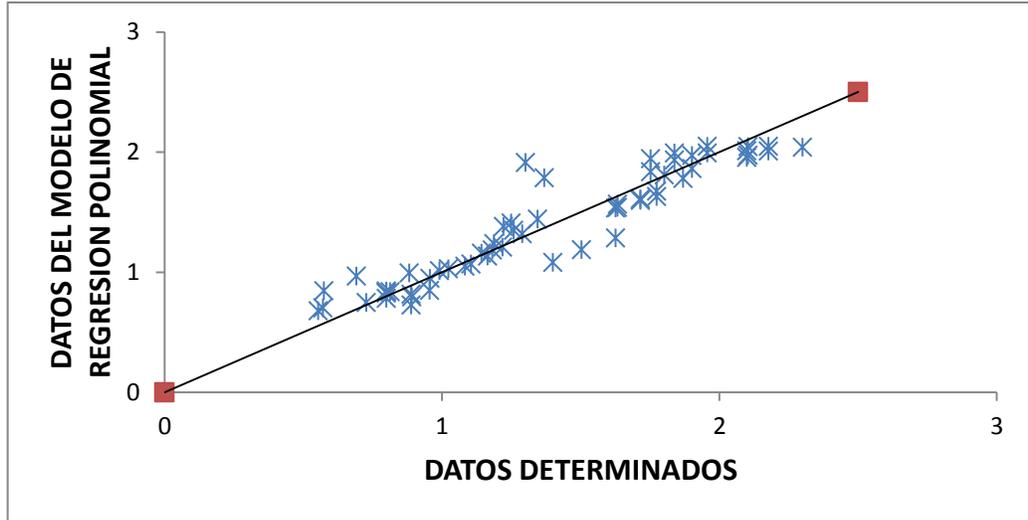
Fuente: datos calculados.

Figura 4. **Concentración de metano en el biogás como porcentaje en volumen en los análisis realizados**



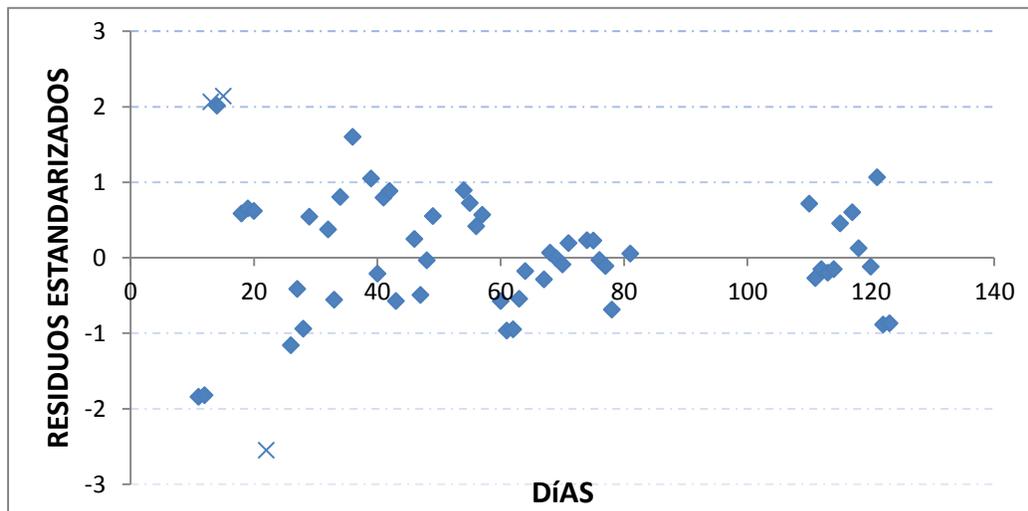
Fuente: analizador de biogás BX568.

Figura 5. **Datos del modelo de regresión polinomial *versus* los datos determinados**



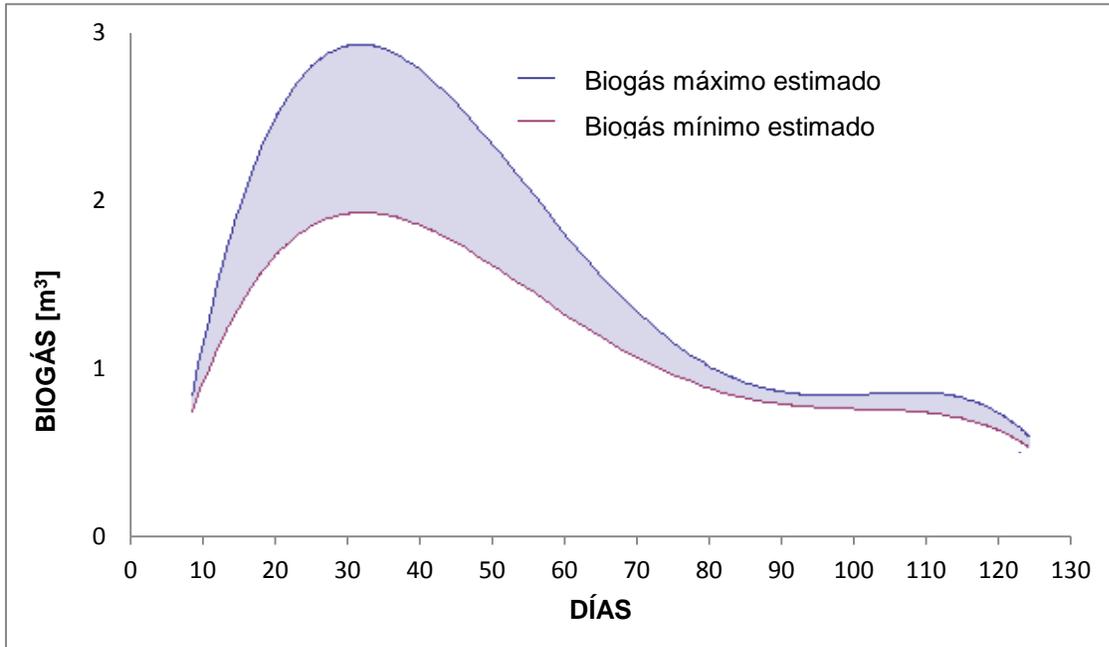
Fuente: datos calculados.

Figura 6. **Residuos estandarizados *versus* días**



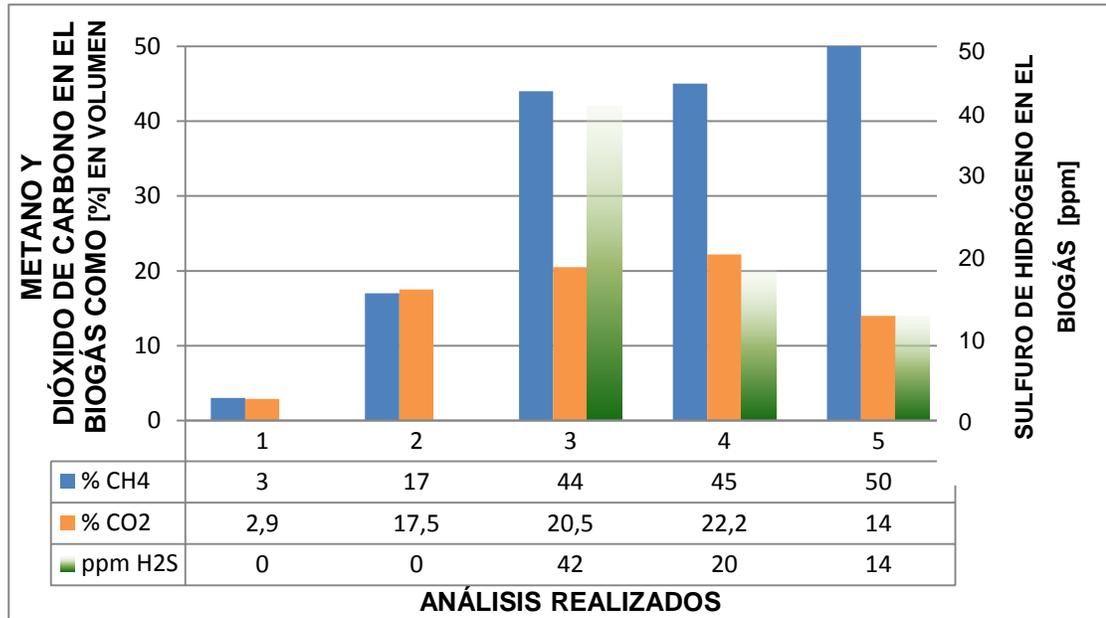
Fuente: datos calculados.

Figura 7. **Biogás máximo y mínimo estimado**



Fuente: datos calculados.

Figura 8. **Metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno en el biogás para cada análisis**



Fuente: Analizador de biogás BX568 y analizador de sulfuro de hidrógeno BX170.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La regulación de referencia utilizada es de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos de Norteamérica número 40, 530 estándares para el uso y disposición de sólidos residuales.

De acuerdo al propósito del presente trabajo, la regulación en términos generales requiere (a) la reducción de contaminantes a niveles no dañinos; los contaminantes regulados corresponden a: metales pesados y organismos patógenos, (b) disminuir el contenido de materia orgánica para evitar la atracción de vectores que puedan transportar patógenos.

La presencia de metales pesados inhiben los procesos de descomposición anaeróbica. Las concentraciones de inhibición son mucho menores a las permitidas para el uso de los lodos como fertilizante, ya que el proceso de descomposición anaeróbica sujeto de investigación se realizó exitosamente. Se estima que los lodos no contienen metales pesados en concentraciones mayores a las permitidas por la norma.

Lo anterior se refuerza con lo siguiente:

- Un análisis de lodos llevado a cabo 17 meses antes, que corresponde al mismo tipo de aguas residuales utilizadas, concluyó que la baja concentración de arsénico, cadmio, cromo, mercurio, plomo, permitía un tratamiento biológico.

- Los lodos cargados al biodigestor tienen un origen doméstico, no industrial.
- Y se determinó la generación de metano en el proceso de digestión anaeróbica.

Se corrobora que la concentración de metales pesados presentes no inhibió el proceso. Por lo cual, se estima una concentración de metales pesados no peligrosa para ser utilizada como fertilizante.

Para cumplir con la reducción de organismos patógenos del reglamento, la alternativa número 6, parte 503,32 (8) de la regulación de referencia es la más cercana al proceso realizado.

El resultado indica el cumplimiento de la reducción de bacterias patógenas, ya que el análisis microbiológico indicador de patógenos realizado fue el análisis de coliformes fecales. La regulación requiere una concentración de coliformes fecales menor a 1 000 número más probable por gramo de sólidos totales en peso seco.

El resultado del análisis de la muestra del lodo efluente fue menor a 2 número más probable / 100 mililitros. Y si el porcentaje de sólidos secos en el lodo alimentado mostró un mínimo de 8 por ciento y un máximo de 25 por ciento. El resultado de la muestra del lodo tratado anaeróbicamente fue menor a 3 número más probable /10 gramos sólidos totales en peso seco (s.t.), esta cantidad es muy inferior a la requerida por la norma.

La concentración de coliformes se redujo 99,9 por ciento o casi 3 logaritmos de base 10, pues su concentración inicial fue 922 número más

probable /gramo s.t., y la final fue cercana a cero. Mientras la reducción de coliformes fecales en los lodos fue 99,9 por ciento o 2,3 logaritmos de base 10. Este resultado indica que el proceso de digestión anaeróbica a temperatura ambiente durante 123 días es adecuado para la reducción de bacterias en el lodo utilizado como sustrato. Aunque es remarcable la baja concentración de coliformes y coliformes fecales, incluso antes de que el lodo fueran tratado anaeróticamente.

Pero la temperatura ambiente del proceso no asegura la reducción de otro tipo de patógenos como virus y parásitos (protozoos y helmintos). La *USEPA* indica la relación entre la desinfección térmica del lodo de aguas residuales y el tiempo; la temperatura mínima es de 50 grados Celsius por 20 minutos. También indica que a temperaturas menores es incierta la desinfección.

Aunque los virus y parásitos no aumentan en número fuera de su huésped y el tiempo de descomposición anaeróbica del lodo fue extenso (123 días). La reducción en su número es muy posible, pero son precisos los análisis microbiológicos especialmente donde el rango de temperatura del proceso es bajo.

El siguiente requerimiento es una disminución de la materia orgánica a través del análisis en el contenido de sólidos volátiles.

El contenido promedio de sólidos volátiles (s.v.) en los sólidos totales fue de 58 por ciento, en el lodo cargado al biodigestor. La desviación estándar de 27 por ciento indica un amplio rango, pues los lodos provienen de diferentes fosas sépticas. El estudio anterior de referencia, con 11 muestras obtuvo un promedio de 63 por ciento y 18 por ciento de desviación estándar. La prueba F

para varianza de dos muestras con un 95 por ciento de confiabilidad indica que las desviaciones estándar no tienen diferencia significativa. Esto último indica de hecho, un menor rango de variación en el contenido de s.v., en el lodo que entra al biodigestor.

El resultado de las muestras analizadas indica una reducción promedio de sólidos volátiles en el lodo efluente del 72 por ciento. Debido a la incertidumbre la reducción mínima posible es de 47 por ciento. También, se prueba la hipótesis estadísticamente utilizando una distribución T de *Student*, con un 95 por ciento de confiabilidad. El lodo tratado ha reducido su contenido de sólidos volátiles en más de un 38 por ciento. Esto significa que el lodo no atrae vectores.

Se evidenció así, que el lodo descargado del biodigestor, tratado anaeróbicamente, no atrajo vectores. Ya que estos pasaron por un proceso de reducción de sólidos volátiles mayor al requerido. Así mismo, la ausencia del olor ofensivo en el lodo efluente y la ausencia de vectores en el patio de secado, demostraron su cumplimiento.

Con lo anterior se cumplieron dos de tres requerimientos del reglamento de referencia parte 503,32 (8) para su clasificación (el tercer requerimiento es un proceso de secado, el cual no fue considerado en este estudio). Así que, los resultados en la concentración de coliformes fecales en el lodo efluente como la reducción de sólidos volátiles, permiten clasificar al lodo tratado anaeróbicamente como de clase A.

Ya que el contenido de sólidos volátiles en los sólidos fue de 14,4% +/- 0,5 por ciento. La disponibilidad de materia orgánica permitiría la continuidad del proceso de descomposición orgánica.

Según los datos recabados para cada día existe una diferencia en la velocidad de generación de biogás entre la medida en la mañana y la cercana al medio día. Esta variación es atribuida únicamente a la variación de la temperatura del ambiente. Ya que por ser un proceso tipo discontinuo, no se interfirió con el mismo en ninguna de sus variables. Y aún cuando la temperatura no se midió, existieron evidentes variaciones de temperatura durante el día.

Si se realizan ciertas suposiciones razonables para el cálculo teórico del cambio de temperatura en el agua dentro del biodigestor. La temperatura del agua dentro del biodigestor no cambia ni 1 grado Celsius. Cuando la temperatura fuera del digestor cambia 5 grados Celsius durante 2 horas y la humedad mínima del lodo afluente dentro del biodigestor es de 75 por ciento en masa.

Por ello se considera que, el cambio en la temperatura dentro del biodigestor no fue drástica, ni inmediata como pudo haber sido la temperatura ambiental. Una consideración teórica ayuda a explicarlo; si se considera:

- La baja conductividad térmica de las paredes del biodigestor.
- La alta capacidad calorífica del agua en condiciones estándar, y
- El volumen mínimo de agua en el biodigestor fue de 23 metros cúbicos aproximadamente.

Así que el conjunto bacteriano fue muy sensible a los cambios de temperatura. Y existió una mayor actividad microbiana aproximadamente a partir del medio día de acuerdo a la velocidad de generación de biogás medida. Por lo que, las bacterias disminuyeron o aumentaron la generación de biogás en función de la temperatura.

La figura 3 representa el comportamiento del volumen de biogás generado con un modelo de regresión polinomial de cuarto orden. Se descartó un modelo de regresión linealizable. La figura 4 muestra que el modelo de regresión estimada da valores precisos de los datos observados, esta figura y la figura 5 de residuos estandarizados indican lo adecuado del modelo de regresión elegido.

La generación de biogás fue de 146 +/-18 metros cúbicos durante los 123 días que duro el proceso. La figura 6 muestra que la mayor incertidumbre corresponde al período de mayor generación de biogás. Por cuanto en este período se midió tres veces 1/2 metros cúbicos de biogás como máximo y los lapsos no medidos corresponden a interpolaciones. Un mayor número de interpolaciones generó una mayor incertidumbre.

Se analizó el contenido de carbono orgánico total en las muestras de lodos. Esto permitió realizar un cálculo teórico del potencial de biogás (compuesto por metano y dióxido de carbono únicamente) generado en condiciones estándar. Se obtuvo un potencia de 837 +/- 223 metros cúbicos de biogás. Por lo que la relación entre el volumen de biogás medido y el biogás teórico es solo 17 +/- 5 por ciento. De acuerdo a esto, existe una subestimación del biogás generado. Esto se explica en gran medida por que el biogás solo fue medido durante ocho horas cada día, y la producción de biogás es continua.

El proceso no generó biogás durante los primeros 8 días, después del cierre del biodigestor. Este tiempo corresponde al período de ajuste y presumiblemente el inicio del crecimiento exponencial de las bacterias responsables de la generación de biogás, en cantidad suficiente. De manera que sea posible medir los subproductos de su actividad metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Se midió la generación de biogás a partir del día 11 del proceso. En esta etapa inicial el porcentaje de metano no representó una parte importante del biogás. Ya que el análisis en la composición del biogás realizado a los 12 días del proceso indica 3 por ciento de CH<sub>4</sub>, 2,9 por ciento de CO<sub>2</sub> y 0 partes por millón de H<sub>2</sub>S. Desde el inicio existió un incremento continuo en la generación de biogás hasta alcanzar una máxima generación entre los días 34 y 39 del proceso.

El biogás generado a los 30 días tuvo una composición en volumen de 17 por ciento CH<sub>4</sub>, 17,5 por ciento de CO<sub>2</sub> y 0 partes por millón de H<sub>2</sub>S. Después del día 39 del proceso existió una disminución continua en la generación de biogás, hasta que el volumen generado de biogás y su composición fue más estable.

La reacción química conocida que genera el mayor porcentaje de metano en el biogás, tiene como principal reactivo al ácido acético. A partir de ésta molécula se genera una molécula de CH<sub>4</sub> y una de CO<sub>2</sub>. Esto explica los resultados de los primeros dos análisis en la composición del biogás, pues indican un porcentaje en volumen de CH<sub>4</sub> igual a la del CO<sub>2</sub>. Los siguientes dos análisis en la composición del biogás muestran una generación de CH<sub>4</sub> dos veces mayor al del CO<sub>2</sub>. Pero en el último análisis de la composición del biogás, el CH<sub>4</sub> es tres veces mayor al CO<sub>2</sub> (50% CH<sub>4</sub> y 14% CO<sub>2</sub>).

Esto indica que, existen otras importantes reacciones químicas para generar metano, diferentes a la vía del ácido acético. De manera que globalmente se generó dos o tres moléculas de CH<sub>4</sub> por una de CO<sub>2</sub>.

Según los análisis en la composición del biogás, la concentración de metano se incrementó hasta su presumible estabilización. Aunque el último

análisis indica un porcentaje máximo de metano en la composición del biogás. Los análisis en la composición del biogás fueron puntuales, de manera que se realizaron cinco análisis durante los 123 días de duración del proceso.

Es útil indicar que se hizo pasar el biogás por un filtro de  $H_2S$ , este se elaboro sellando un tanque conteniendo una considerable cantidad de trozos de metal oxidado. El filtro removió el  $H_2S$  presente en el biogás, según el análisis de la composición del biogás realizada a la salida del filtro.

## CONCLUSIONES

1. Los lodos efluentes tratados anaeróbicamente, se clasifican como lodos de clase A, conforme a las directrices de la *USEPA* título 40 parte 503,32.
2. La reducción de sólidos volátiles en los lodos al final del proceso de descomposición anaeróbica, fue de  $72 \pm 25$  por ciento.
3. La reducción de bacterias coliformes fecales en los lodos efluentes tratados por un proceso anaeróbico, fue del 99,9 por ciento.
4. El carbono orgánico total fue de  $480 \pm 74$  kilogramos.
5. El volumen de biogás generado por el proceso de descomposición anaeróbica de lodos fue de  $146 \pm 18$  metros cúbicos.
6. El porcentaje máximo de metano en el biogás fue de 50 por ciento en volumen.



## RECOMENDACIONES

1. Evaluar la calidad microbiológica del agua efluente para considerar su evacuación a alguna masa receptora de agua o si debe continuar con su proceso de tratamiento.
2. Es necesaria la evaluación de diversas opciones para el mejor aprovechamiento del biogás.
3. Es necesaria la remoción del dióxido de carbono del biogás de manera que se disponga de un mayor calor de combustión.
4. Llevar a cabo análisis en la reducción de huevos de helmintos y virus entéricos en los lodos tratados a temperatura ambiente.
5. Es necesario minimizar el tiempo de residencia de los lodos en el biodigestor sin disminuir la calidad del biogás y los lodos generados.
6. El proceso anaeróbico es apropiado para el tratamiento de lodos de aguas residuales domésticas.
7. Captar el biogás generado y la combustión del metano de manera que no sea liberado a la atmósfera.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ, Maricruz; LÓPEZ, María. *Evaluación de la calidad microbiológica del agua de las plantas de tratamiento de agua que surten la ciudad de Guatemala*. Revista UVG, No. 11. 2001. 6 p.
2. CIFERRI, Alberto. *Technical, socio/economical and environmental aspects of biogás generation using rural household waste*. La chimica & L' Industria. 2008. 5 p.
3. DIETER Deublein; et al. *Biogas from waste and Renewable resources*, [en línea]. 2a ed. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.Formatopdf.[http://books.google.com.gt/books?id=0VN57A6eAYC&printsec=frontcover&dq=Biogas+from+waste+and+Renewable+resources&hl=es&ei=qOs3ToawE6S30AGJnf2yAw&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=1&ved=0CC0Q6AEwAA](http://books.google.com.gt/books?id=0VN57A6eAYC&printsec=frontcover&dq=Biogas+from+waste+and+Renewable+resources&hl=es&ei=qOs3ToawE6S30AGJnf2yAw&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1&ved=0CC0Q6AEwAA). 2010. [consulta: Mayo 2011]
4. GALINDO Valeriano, Carlos. *Estudio caracterización y tratamiento de lodos provenientes de fosas sépticas*. Trabajo de graduación de M.Sc. en Ingeniería Sanitaria, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 114 p.
5. GERARDI, Michael. *The microbiology of Anaerobic Digesters*. New Jersey John Wiley & Sons, 2003. 188 p. Wastewater Microbiology series, ISBN: 0-471-20693-8

6. JORGENSEN, Peter. *Biogas -green energy*. [en línea]. Schacht, Margit (traductor), 2a ed. Dinamarca: Busch, Anna (editor), 2009. Formato pdf. [www.lemvigbiogas.com/BiogasPJJuk.pdf](http://www.lemvigbiogas.com/BiogasPJJuk.pdf). [Consulta: 02 Junio 2011]
  
7. KOSSMANN, Werner; et al. *Biogas Digest*. [en línea]. Volumen I. Alemania: 1996. Formato pdf. <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-biogas-digest-volume-1-1999.pdf>. [Consulta: 05 Junio 2011]
  
8. MANG, Heinz-Peter. *Technology review of biogas sanitation*. [en línea]. Alemania. Elisabeth von Muench (editor), Alemania. 14 Julio 2010. Formato pdf. <http://www.gtz.de/en/dokumente/gtz2010-en-technology-review-biogas-sanitation.pdf> [Consulta: 15 Junio 2011]
  
9. McLEAN, Robert. *Honduras wastewater treatment: Chemically enhanced primary treatment and sustainable secondary treatment technologies for use with Imhoff tanks*. [en línea]. Massachusetts Institute of Technology. 2009. [http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student%20Theses/Honduras/McL\\_ean\\_MEng\\_Thesis\\_2009.pdf](http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student%20Theses/Honduras/McL_ean_MEng_Thesis_2009.pdf). Formato pdf. [Consulta: 28 Mayo 2011]
  
10. National Academy of Sciences. *Methane generation from human, animal and agricultural wastes*. [en línea]. Washington D.C. segunda impresión, 1981. [www.agrienvaarchive.ca/bioenergy/download/methane\\_generation\\_1977.pdf](http://www.agrienvaarchive.ca/bioenergy/download/methane_generation_1977.pdf), Formato pdf. [Consulta: 05 Mayo 2011]

11. RAJESHWARI, K. V., et al. *State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment*. [en línea]. Nueva Delhi, India. Renewable and Sustainable Energy Reviews, New Delhi, 7 de Julio 1999. Formato pdf. <http://www.gch.ulaval.ca/bgrandjean/gch20273/chap10/lecture.pdf>. [Consulta: 18 Mayo 2011]
12. SCHLEGEL, Hans. *Microbiología General*. Lalucat, Jordi (trad.), novena edición, Barcelona; OMEGA 1997, 669 p. ISBN 84-282-1030-6
13. SCHNÜRER, Anna; JARVIS, Asa. *Microbiological Handbook for Biogas Plants*. [en línea]. Suecia, Diciembre 2010 Formato pdf. [www.avfallsverige.se](http://www.avfallsverige.se) . [Consulta: 10 Junio 2011]
14. TCHONOGLOUS, George; et al. *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Tchobanoglous, George (rev.), Burton, Franklin L. (rev.), tercera edición, México: McGraw-Hill, 1996. 1 878 p. ISBN: 970-10-1005-1
15. United States Environmental Protection Agency. *Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge*. U.S. 1999. 186 p.
16. \_\_\_\_\_. Título 40, Parte 503. *Standards for the use and disposal or sewage sludge*. U.S. 2012. 29 p.



## **APÉNDICES**



## **1. Resultados de laboratorio**

A continuación se presentan los informes de los análisis fisicoquímico y microbiológico realizados por el Laboratorio de Investigación Química y Ambiental (LIQA) y el Laboratorio Microbiológico de Referencia (LAMIR) respectivamente de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de Universidad de San Carlos de Guatemala.



**USAC**  
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS INORGÁNICO



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN  
QUÍMICA Y AMBIENTAL  
-LIQA-

Fecha: 10 de julio de 2012

**INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO**

A continuación se presenta el informe con los resultados de los análisis de sólidos totales y sólidos volátiles solicitados, de 1 muestras de aguas residuales provenientes de Palín, Escuintla.

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre: Empresa/Institución Observaciones:	<b>MARVIN OTZOY</b> Particular	Dirección: Teléfono: Correo electrónico:	marvinotzoy@hotmail.com
--	-----------------------------------	--	-------------------------

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Aguas residuales de Baños Portátiles	<b>Parámetros solicitados:</b>  <b>Sólidos Totales, Sólidos Volátiles y Carbono Orgánico Total.</b>
Cantidad de sitios de muestreo:	1	
Tipo de envase o embalaje:	Recipientes de plástico (1 litro)	
Origen de las muestras:	41-01: Superficie	
Fecha de recepción:	29 de septiembre de 2011.	

Sin otro particular me es grato suscribirme,

Atentamente,  
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

BEOH/beoh.  
20120710



LABORATORIO DE INVESTIGACION  
QUÍMICA Y AMBIENTAL

Licda. Bessie Oliva.  
Directora LIQA  
Área Ambiental

## INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

### RESULTADOS

No.	Identificación de muestra por:		RESULTADOS	
	Usuario	LIQA	Sólidos Fijos, Volátiles a 550°C	Sólidos Totales a 103-105°C
			Valor mg/L	Valor mg/L
1.	Botella de plástico blanco, superficie	41-01	96 482 ± 11 239	226 532 ± 10 875

No.	Identificación de muestra por:		RESULTADOS	
	Usuario	LIQA	CARBONO ORGÁNICO TOTAL (% COT) EN PESO SECO	MATERIA ORGÁNICA (%MO) EN PESO SECO
			Valor % ± Incertidumbre	Valor % ± Incertidumbre
1.	Botella de plástico blanco, superficie	41-01	27,87 ± 1,81	48,05 ± 3,12

No.	Identificación de muestra por		RESULTADOS
	Usuario	LIQA	CONTENIDO DE HUMEDAD EN PORCENTAJE ( %H )
			Valor % ± Incertidumbre
1.	Botella de plástico blanco, superficie	41-01	75,45 ± 0,08

**Observaciones:**

**Métodos utilizados**

La determinación de **Sólidos totales** está basada en: "2540 B. Método Sólidos totales secados a 103-105°C. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 2-80. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

La determinación de **Sólidos fijos y volátiles** está basada en: "2540 E. Método Sólidos fijos y volátiles incinerados a 550°C. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 2-85. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

La determinación de **Carbono orgánico total (COT)** está basada en: "5310 C. Método de oxidación húmeda. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 5-20. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

La determinación del **Contenido de humedad en porcentaje (%H)** está basado en "ASTM D2216 - 10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass".

**ND:** No detectado (por debajo del límite de cuantificación)

**NM:** No Muestreado

**NDet:** No determinado

**PND:** Pendiente

\*. La incertidumbre está calculada con 3 repeticiones al 95% de confianza.

\*\*La desviación estándar está calculada con 2 repeticiones.

Fecha: 10 de julio de 2,012

**INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO**

A continuación se presenta el informe con los resultados de los análisis de sólidos totales, sólidos volátiles y carbono orgánico total solicitados, de 2 muestras de aguas residuales provenientes de de Palín, Escuintla.

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre:	<b>MARVIN OTZOY</b>	Dirección:	
Empresa/Institución:	Particular	Teléfono:	
Observaciones:		Correo electrónico:	marvinotzoy@hotmail.com

INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Aguas residuales	<b>Parámetros solicitados:</b>  <b>Sólidos Totales y Volátiles y COT.</b>
Cantidad de sitios de muestreo:	2	
Tipo de envase o embalaje:	Recipientes de plástico (1 litro)	
Origen de las muestras:	38-01: 38-02:	
Fecha de recepción:	20 de septiembre de 2011.	

Sin otro particular me es grato suscribirme,

Atentamente,  
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

BEOH/beoh.  
20120710

---

**INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO**


---

**RESULTADOS**

No.	Identificación de muestra por:		RESULTADOS	
	Usuario	LIQA	Sólidos Fijos, Volátiles a 550°C	Sólidos Totales a 103-105°C
			Valor mg/L	Valor mg/L
1.	Botella de plástico blanco, fondo	38-01	63 562 ± 4 445	71 736 ± 4 193
2.	Botella de plástico blanco, media	38-02	16 237 ± 7 054	38 360 ± 26 074

No.	Identificación de muestra por:		RESULTADOS	
	Usuario	LIQA	CARBONO ORGÁNICO TOTAL (% COT) EN PESO SECO	MATERIA ORGÁNICA (%MO) EN PESO SECO
			Valor % ± Incertidumbre	Valor % ± Incertidumbre
1.	Botella de plástico blanco, fondo	38-01	34,11 ± 2,109	58,81 ± 3,64
2.	Botella de plástico blanco, media	38-02	14,84 ± 1,72	25,59 ± 2,64

No.	Identificación de muestra por		RESULTADOS
	Usuario	LIQA	CONTENIDO DE HUMEDAD EN PORCENTAJE (%H)
			Valor % ± Incertidumbre
1.	Botella de plástico blanco, fondo	38-01	90,92 ± 0,02
2.	Botella de plástico blanco, media	38-02	92,19 ± 0,03

## Observaciones:

**Métodos utilizados**

La determinación de **Sólidos totales** está basada en: "2540 B. Método Sólidos totales secados a 103-105°C. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 2-80. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

La determinación de **Sólidos fijos y volátiles** está basada en: "2540 E. Método Sólidos fijos y volátiles incinerados a 550°C. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 2-85. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

La determinación de **Carbono orgánico total (COT)** está basada en: "5310 C. Método de oxidación húmeda. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 5-20. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

La determinación del **Contenido de humedad en porcentaje (%H)** está basado en "ASTM D2216 - 10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass".

**ND:** No detectado (por debajo del límite de cuantificación)      **NM:** No Muestreado

**NDet:** No determinado

**PND:** Pendiente

\*. La incertidumbre está calculada con 3 repeticiones al 95% de confianza.

\*\*La desviación estándar está calculada con 2 repeticiones.



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA  
ESCUELA DE QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE ANÁLISIS INORGÁNICO



LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN  
QUÍMICA Y AMBIENTAL  
-LIQA-

Fecha: 10 de julio de 2,012

### INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO

A continuación se presenta el informe con los resultados de los análisis líquidos y sólidos volátiles solicitados, de 3 muestras de aguas residuales provenientes de baños portátiles, de Palín, Escuintla.

#### INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre:	<b>MARVIN OTZOY</b>	Dirección:	
Empresa/Institución:	Fac. Ingenierí	Teléfono:	41938254 / 55171041
Observaciones:		Correo electrónico:	marvinotzoy@hotmail.com

#### INFORMACIÓN DE LAS MUESTRAS

Tipo de muestra:	Aguas residuales de Baños Portátiles	<b>Parámetros solicitados:</b>  <b>Sólidos Totales y Sólidos Volátiles.</b>
Cantidad de muestra:	1500 g aproximadamente	
Tipo de envase o embalaje:	Recipientes de vidrio (550 g)	
Origen de las muestras:	61-01: Fondo 61-02: Media 61-03: Superior	
Fecha de recepción:	05 de marzo de 2012.	

Sin otro particular me es grato suscribirme,

Atentamente,  
"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

BEOH/beoh.  
20120710



LABORATORIO DE INVESTIGACION  
QUÍMICA Y AMBIENTAL

Licda. Bessie Oliva.  
Directora LIQA  
Área Ambiental

---

**INFORME DE ANALISIS FISICOQUÍMICO**


---

**RESULTADOS**

No.	Identificación de muestra por:		RESULTADOS	
	Usuario	LIQA	Sólidos Fijos, Volátiles a 550°C	Sólidos Totales a 103-105°C
			Valor mg/L	Valor mg/L
1.	Botella de vidrio, fondo	61-01	32 311 ± 1 983	219 671 ± 24 995
2.	Botella de vidrio, media	61-02	32 230 ± 1 657	219 949 ± 11 016
3.	Botella de vidrio, superficie	61-03	28 600 ± 2 279	208 538 ± 20 926

## Observaciones:

**Métodos utilizados**

La determinación de **Sólidos totales** está basada en: "2540 B. Método Sólidos totales secados a 103-105°C. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 2-80. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

La determinación de **Sólidos fijos y volátiles** está basada en: "2540 E. Método Sólidos fijos y volátiles incinerados a 550°C. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA-AWWA-APCF. Díaz de Santos. Pp 2-85. Límite de cuantificación: 1 mg/L.

**ND:** No detectado (por debajo del límite de cuantificación)

**NM:** No Muestreado

**NDet:** No determinado

**PND:** Pendiente

\*. La incertidumbre está calculada con 3 repeticiones al 95% de confianza.

\*\*La desviación estándar está calculada con 2 repeticiones.



07 de octubre de 2011

231 A/011

**I. Información general:**

**Refiere:** Sr. Marvin Tartón

**Institución:** Particular

**Procedencia:** Planta de tratamiento de aguas residuales

**Tipo de muestra:** lodo

**Análisis solicitado:** Recuento heterotrófico en placa de bacterias, Coliformes y *E. coli*.

**Fecha y hora de ingreso al laboratorio:** 29/09/11; 12:00 hrs.

**Fecha y Hora de muestreo:** 29/09/11; 08:00 hrs.

**Metodología:** Basado en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

**II. Resultados** (Con base a la muestra tal y como fue referida al laboratorio)

	<b>Resultado</b>
Estimado de coliformes totales:*	$7.2 \times 10^3$ NMP/100mL
Estimado de coliformes fecales:*	$1.6 \times 10^3$ NMP/100mL
Se aisló <i>Escherichia coli</i>	
mL: Mililitro	
NMP: Número más probable	

\* El resultado de coliformes fecales y totales está basado en el análisis de 100 mL de muestra.

**III. Conclusiones:** En Guatemala no hay normativa para abonos orgánicos, pero basándose en el Reglamento (CE): No. 1774-2002 (UE) de la Unión Europea, en un abono orgánico está permitido  $<1000$  NMP/ml de *Escherichia coli*, en esta muestra la cantidad de *Escherichia coli* sobrepasa este rango.

**NOTA ACLARATORIA:** El Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR– no se hace responsable por el uso que se de al presente resultado.

“ID y ENSEÑAD A TODOS”

Licda. Wendy A. Chamalé Contreras  
**LAMIR**

Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR–  
Edificio T-12, 2do Nivel  
Tel/Fax 24189413 ext. 108



No se permite la reproducción parcial de los resultados sin previa autorización del laboratorio

-----ÚLTIMA LÍNEA-----

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE CC. QQ.  
Y FARMACIA  
EDIFICIO T-12

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

09 de marzo 2012

035 A/012

**I. Información general:**

**Refiere:** Sr. Marvin Tartón Otzoy

**Institución:** Particular

**Procedencia:** Palín, Planta de tratamiento

**Tipo de muestra:** Lodos digeridos de aguas residuales

**Análisis solicitado:** Coliformes, *E. coli*, *Shigella* y *Salmonella*

**Fecha y hora de ingreso al laboratorio:** 06/03/12; 10:35 hrs.

**Fecha y Hora de muestreo:** 05/03/12; 15:00 hrs.

**II. Resultados** (Con base a la muestra tal y como fue referida al laboratorio)

	<b>Resultado</b>
Estimado de coliformes totales:	< 2 NMP/100ml
Estimado de coliformes fecales:	< 2 NMP/100ml
No se aisló <i>Escherichia coli</i>	

g: Mililitro

NMP: Número más probable

**III. Conclusiones:** En Guatemala no hay normativa para abonos orgánicos, pero basándose en el Reglamento (CE): No.1774-2002 (UE) de la Unión Europea. en un abono orgánico esta permitido < 1000 NMP/g de *Escherichia coli*,

“ID y ENSEÑAD A TODOS”

Licda. Wendy Alejandra Chamalé Contreras

**LAMIR**

Laboratorio Microbiológico de Referencia –LAMIR–

Edificio T-12, 2do Nivel

Tel/Fax 24189413 ext. 108



No se permite la reproducción parcial de los resultados sin previa autorización del laboratorio

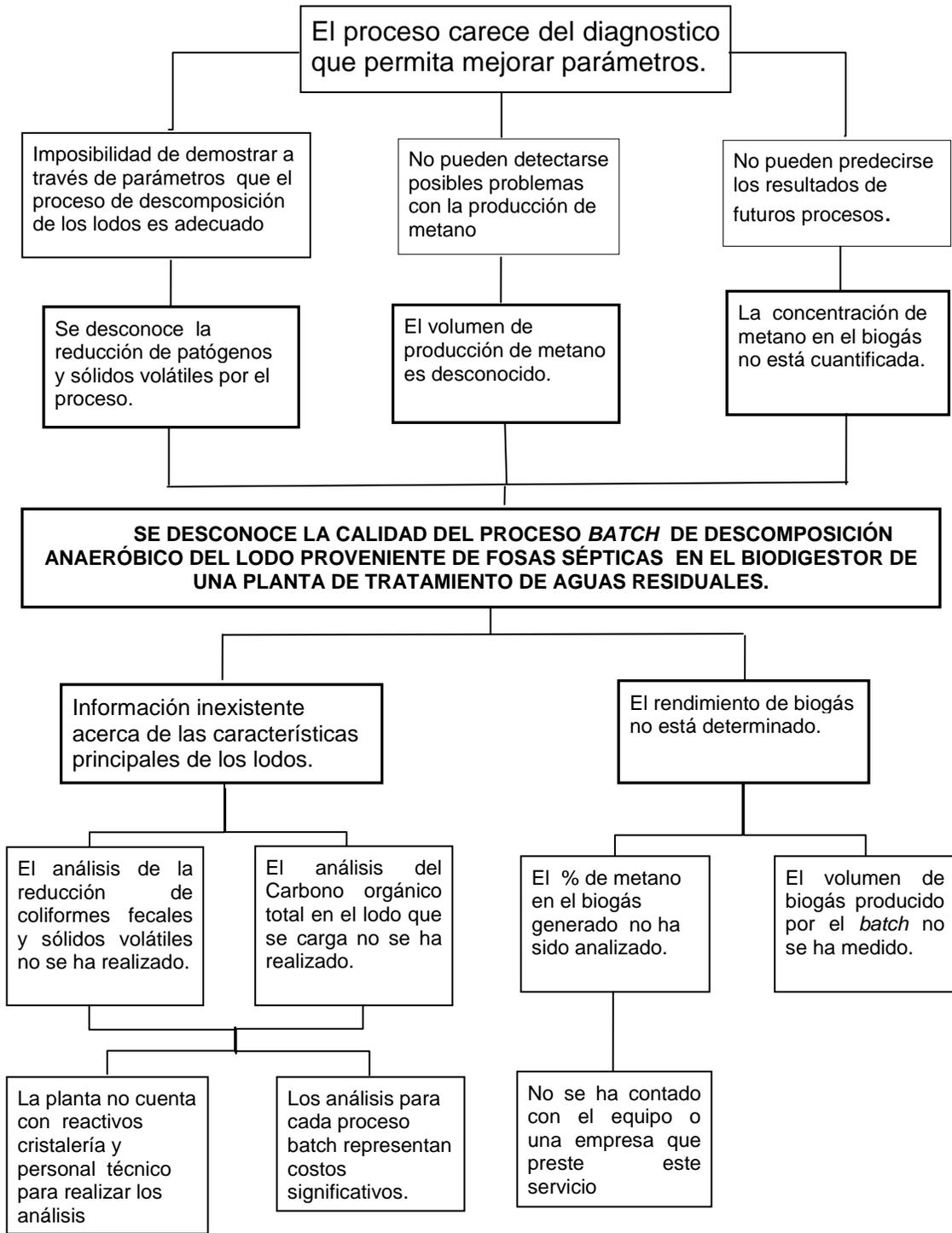
-----ÚLTIMA LÍNEA-----



## **ANEXOS**

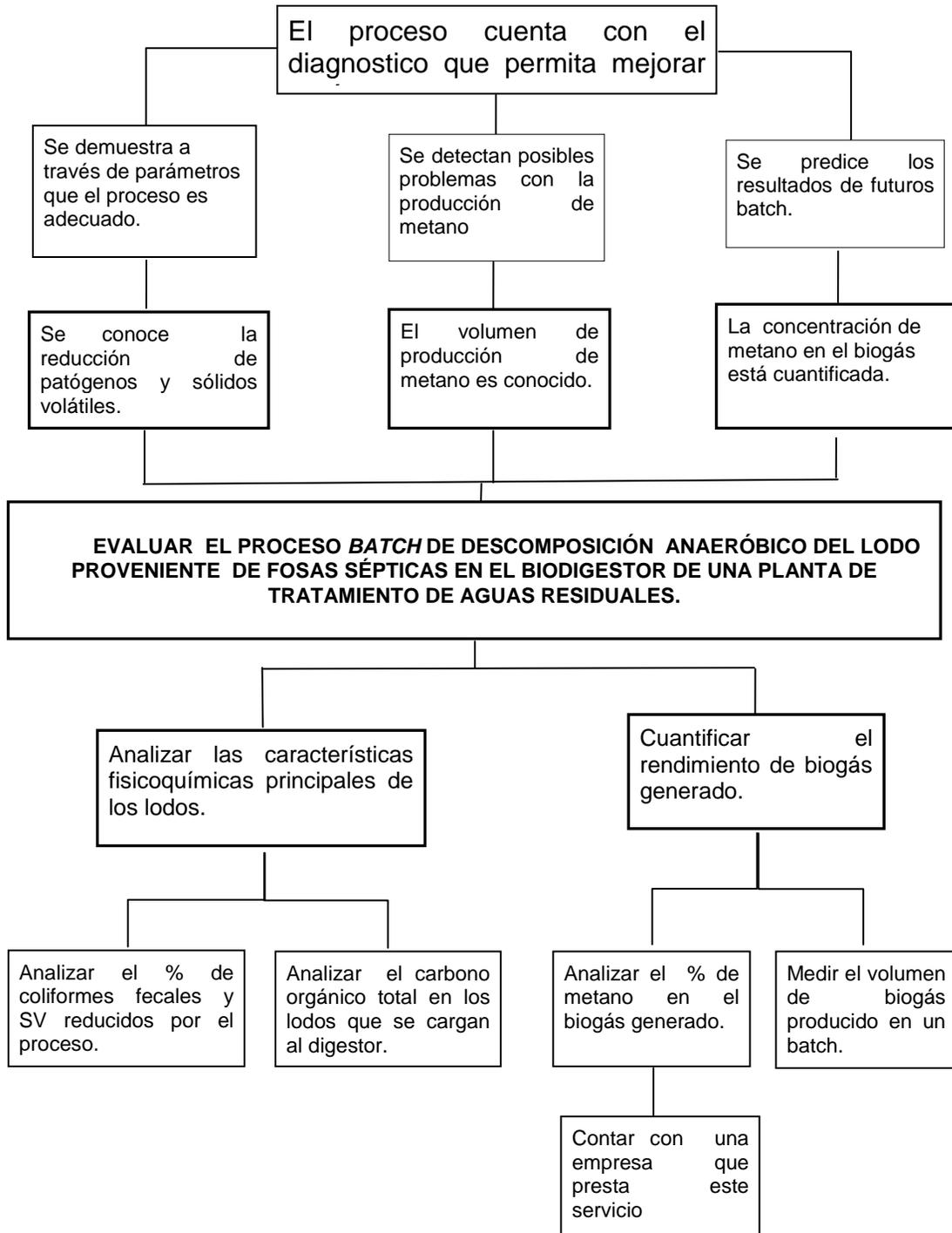


Figura 9. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Árbol de objetivos**



Fuente: elaboración propia.

## Biodigestor y equipo utilizado en el proceso anaeróbico

Figura 11. **Biodigestor**



Fuente: planta de tratamiento de aguas residuales, Palín Escuintla.

Figura 12. **Parte superior del biodigestor**



Fuente: planta de tratamiento de aguas residuales, Palín Escuintla.

Figura 13. **Presión máxima en el biodigestor**



Fuente: planta de tratamiento de aguas residuales, Palín Escuintla.

Figura 14. **Bolsa empleada para medir el biogás**



Fuente: planta de tratamiento de aguas residuales, Palín Escuintla

Figura 15. **Composición máxima de metano en el biogás**



Fuente: analizador de biogás BX568.

Figura 16. **Sulfuro de hidrógeno en el biogás con máximo porcentaje de metano**



Fuente: detector BX170 de Sulfuro de hidrógeno.

Figura 17. **Desulfurizador**



Fuente: planta de tratamiento de aguas residuales.

Figura 18. **Concentración de sulfuro de hidrógeno en ppm a la salida del desulfurizador**



Fuente: detector BX170 de sulfuro de hidrógeno en ppm.

