



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE  
LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE  
MAYONESA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES**

**Mauricio Gregorio Baten Barrios**

Asesorado por el Msc. Ing. Ronal Adolfo Herrera Orozco

Guatemala, febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE  
LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE  
MAYONESA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MAURICIO GREGORIO BATEN BARRIOS**

ASESORADO POR EL MSC. ING. RONAL ADOLFO HERRERA OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

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

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl De León de Paz
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **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:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE  
LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE  
MAYONESA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 14 de febrero 2013.



**Mauricio Gregorio Baten Barrios**

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

**ADSE-MEAPP-0012-2013**

Guatemala, 14 de febrero de 2013.

Director:  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Mauricio Gregorio Baten Barrios** con carné número **1997-12488**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

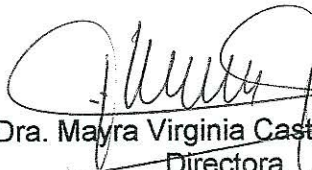
**RONAL ADOLFO HERRERA OROZCO**  
INGENIERO QUIMICO  
COL-781

“Id y enseñad a todos”

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

Msc. Ing. Ronal Adolfo Herrera Orozco  
Asesor (a)

Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepéque.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo  
/la



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante **MAURICIO GREGORIO BATEN BARRIOS**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE MAYONESA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, febrero 2013

Cc: Archivo  
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala  
VMMV/ale

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 152 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE MAYONESA UBICADA EN EL MUNICIPIO DE FRAIJANES**, presentado por el estudiante universitario: **Mauricio Gregorio Baten Barrios**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 28 de febrero de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser un importante guía en mi carrera y en mi vida.
- Mis padres** Gregorio Baten y Blanca Esperanza Barrios por su amor y apoyo incondicional en mi vida.
- Mis hermanos** Brenda y Josué por ser un importante apoyo en mi vida.
- Mi abuela** Antonia (q.e.p.d.) por su apoyo incondicional.
- Mi tío** Amílcar por su apoyo en mi vida profesional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. OBJETIVOS .....	5
4. JUSTIFICACIÓN .....	7
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	9
6. ALCANCE DEL TEMA.....	11
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	13
7.1. Biodigestión anaerobia.....	13
7.1.1. Biogás .....	15
7.1.2. Bioquímica y microbiología de los procesos anaeróbicos .....	17
7.1.3. Claves de la digestión anaerobia .....	19
7.1.4. Tiempo de retención.....	20
7.1.5. Velocidad de carga orgánica .....	21

7.2.	Factores técnicos a considerar en biodigestores.....	25
7.3.	La temperatura.....	24
7.4.	Contribución del biogás en el calentamiento global.....	25
7.5.	Factores a considerar en la construcción de un biodigestor industrial.....	27
7.5.1.	Ubicación.....	27
7.5.2.	Separador de sólidos.....	28
7.5.3.	Fosa de mezclado.....	28
7.5.4.	Tuberías del influente.....	28
7.5.5.	Tuberías de conducción del biogás.....	29
7.5.6.	Tuberías de extracción de sólidos.....	29
7.5.7.	Sistema de agitación.....	29
7.5.8.	Colocación de geomembrana.....	30
7.5.9.	Quemador de biogás.....	31
8.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
9.	CONTENIDO.....	35
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	37
10.1.	Técnicas analíticas.....	38
10.1.1.	Procedimiento para determinar pH.....	38
10.1.2.	Procedimiento para determinar temperatura.....	39
10.1.3.	Procedimiento para determinar porcentaje de sólidos totales.....	40
10.1.4.	Procedimiento para determinar porcentaje de humedad.....	40
10.1.5.	Procedimiento para cuantificar la cantidad de biogás.....	41

10.1.	Sistema de muestreo a utilizar .....	42
10.2.	Análisis estadístico a utilizar .....	43
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	45
12.	RECURSOS NECESARIOS.....	47
	BIBLIOGRAFÍA.....	49



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia.....	15
2.	Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía.....	16
3.	Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos.....	18
4.	Eliminación de sólidos volátiles y producción de volumétrica gas.....	20
5.	Producción de gas por unidad de carga en función de la velocidad de carga orgánica (VCO).....	21
6.	Producción de biogás (días) con cambios de temperatura.....	25
7.	Horno.....	37
8.	Mufla.....	37
9.	Balanza analítica.....	38
10.	Centrífuga.....	38
11.	Potenciómetro.....	39
12.	Contador de gases.....	42

## TABLAS

I.	Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria.....	22
II.	Propiedades a considerar en la selección de geomembrana.....	30
III.	Cronograma de actividades del proyecto.....	45
IV.	Recursos necesarios.....	47



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AGV</b>	Ácidos grasos volátiles
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>Kcal</b>	Kilocaloría
<b>Kw-h</b>	Kilovatio por hora
<b>mV</b>	Milivoltios
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno
<b>PVC</b>	Polivinilcloruro
<b>ST</b>	Sólidos totales
<b>SV</b>	Sólidos volátiles
<b>VCO</b>	Velocidad de carga orgánica





## GLOSARIO

<b>Acetogénesis</b>	Proceso a través del cual las bacterias anaerobias producen acetato a partir de diversas fuentes de energía.
<b>Anaerobio</b>	Medio que no utiliza oxígeno en su metabolismo.
<b>Biodigestor</b>	Los biodigestores son sistemas que aprovechan los residuos orgánicos o las aguas servidas para generar energía.
<b>Biogás</b>	Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica.
<b>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</b>	Es la cantidad de oxígeno disuelto en una muestra de agua, que se consume durante 5 días como consecuencia de la acción de los microorganismos presentes (natural o artificialmente) sobre el contenido de materia orgánica. También se le conoce como el índice de la cantidad de materia biodegradable presente en la muestra.
<b>Gases de efecto invernadero</b>	Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuyen al calentamiento global.

<b>Inóculo</b>	Es la cantidad de carga contaminante que es introducida en un medio que inicialmente no tiene contaminación o poca.
<b>Metanización</b>	Proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los residuos, dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno.
<b>pH</b>	Indica una relación de contenido de iones libres en solución y representa el grado de acidez o basicidad del agua residual, un pH arriba de 8 indica fuerte concentración de álcalis y puede requerir neutralización, un pH neutro (6.5-7.5) no necesariamente indica ausencia de contaminantes, ya que estos pueden estar neutralizados y un pH debajo de 6,5 es ácido.
<b>Sólidos totales</b>	Incluye todo el material disuelto y en suspensión en una muestra de agua residual.
<b>Sólidos volátiles</b>	Son aquellos que se volatilizan a una temperatura de 600 grados Centígrados.

## RESUMEN

En la actualidad, el tratamiento de las aguas residuales industriales ha tomado mayor importancia, ya que el mismo permite que el impacto ambiental de las industrias se disminuya y que sea necesario utilizar mecanismos que no sólo permitan dicho tratamiento sino que aporten energías limpias que puedan aprovecharse.

El presente diseño de investigación se centrará en el estudio del tratamiento de las aguas residuales de una planta procesadora de mayonesas a través de un biodigestor anaerobio, con la finalidad de aprovechar los subproductos generados en dicho tratamiento.

Previo a la parte experimental se cuenta con la información bibliográfica necesaria, recopilada en el marco teórico del presente documento el cual está compuesto de 4 partes: en la primera se describe el proceso de biodigestión anaerobia, mientras que en la segunda se describe la bioquímica y microbiología de los procesos anaeróbicos, fases de la fermentación anaeróbica, claves de la digestión anaerobia y parámetros ambientales que se deben controlar.

En la tercera se abarcan algunos de los aspectos más importantes de la contribución de los proyectos de biogás en la mitigación en el calentamiento global y su importancia en la generación de energía renovable.

En la última parte del marco teórico se describen los factores a considerar en la construcción de un biodigestor anaerobio, ubicación y detalles técnicos a considerar.

La parte experimental se basará en evaluar la concentración de sólidos totales disueltos contra el volumen de biogás generado, el pH contra el volumen de biogás generado y la temperatura contra el volumen de biogás generado, también se evaluará el comportamiento de las 3 variables anteriormente mencionadas con la adición de inóculo, en cada variable se evaluará la calidad del biogás generado.

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, uno de los problemas de mayor enfoque en los países de Latinoamérica son los contaminantes desechados en el agua, indudablemente al hablar de actividad industrial se debe hablar de residuos en todos los estados físicos (sólidos, líquidos y gaseosos) y el daño que causa en la sociedad, tanto su presencia como los productos de su descomposición y los gastos generados por su disposición final.

Los residuos líquidos especialmente las aguas residuales de una planta procesadora de alimentos no pueden ser desechadas al ambiente sin antes darle un tratamiento adecuado, ya que son fuentes primarias de daños a la salud y del desequilibrio ecológico, en este último se pueden generar emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Con el presente diseño de investigación se pretende colaborar con la solución del tratamiento de las aguas residuales a través de un biodigestor anaerobio, esta digestión tiene como fin producir biogás como fuente de energía renovable la cual se puede utilizar dentro de la planta procesadora.

En el procedimiento experimental se tomarán datos de los volúmenes de gas producidos en condiciones normales de la salida de las aguas residuales, luego se harán correlaciones con variaciones de concentración de sólidos totales, pH y temperatura, evaluando la cantidad y calidad del biogás producido.



## **2. ANTECEDENTES**

Siguiendo la iniciativa tomada en 2009 de la implementación de un biodigestor dentro de la misma compañía donde se construyó un sistema para recuperación y quema de metano en una extractora de aceite de palma africana ubicada en Tecún Umán, San Marcos, dicho proyecto actualmente aprovecha el biogás para generar electricidad para las plantaciones aledañas de banano en sustitución de motores diésel de las bombas de riego utilizando motores eléctricos.

Tomando también como referencia local la iniciativa y el modelo optado por granjas avícolas, bovinas y porcinas en Guatemala que han implementado biodigestores para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la actividad animal, siendo una tecnología rentable y que ha logrado la independencia energética aprovechando la mayor cantidad de biogás para las necesidades térmicas de las plantas.

Otros proyectos alternos de referencia local son 50 biodigestores que actualmente operan en las áreas rurales utilizando desechos animales y humanos, los cuales se han enfocado en la generación de biogás como alternativa para cocinar, calefacción y usos domésticos, los desechos que no se convierten en gas son utilizados como fertilizantes, esto también ha ayudado a que en el sector rural se evite cocinar con leña.





### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Evaluar la implementación de un biodigestor para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una planta productora de mayonesa.

#### **Específicos**

1. Determinar si los derivados del tratamiento de los residuos de la planta de mayonesa pueden ser utilizados como fuentes energéticas alternas.
2. Evaluar la calidad del biogás producido con aguas residuales de la planta productora de mayonesa.
3. Evaluar la necesidad de agregar una carga contaminante a los residuos provenientes de la planta productora de mayonesa para agilizar el proceso de metanización.



## 4. JUSTIFICACIÓN

El tratamiento de los desechos sólidos y líquidos descargados al cuerpo receptor, ha sido uno de los temas más polémicos en la industria de alimentos en Guatemala, ya que los residuos de procesos son excelentes nutrientes y en conjunto con excretas del sector domiciliar generan gases de efecto invernadero, provocando también altos niveles de DBO consecuentemente la falta de oxigenación en ríos.

A medida que se incrementa el volumen de producción en una planta productora de alimentos se incrementan los residuos derivados del proceso, algunas empresas han tomado procedimientos equivocados en la disposición final, contaminando ríos y efluentes.

Contar con un sistema de aprovechamiento de los desechos para generar fuentes energéticas alternas, es una buena práctica en la industria de alimentos en Guatemala.

Utilizando residuos de mayonesas para la descomposición en un reactor anaeróbico, no sólo genera residuos limpios genera dos subproductos que pueden ser utilizados, sin contaminar el ambiente: el biogás a partir de la descomposición anaerobia y fertilizante para el sector agrícola.

El biogás es una de las fuentes energéticas mejor aprovechadas para suplir necesidades térmicas de la industria y en menor escala para la generación de energía eléctrica.

Los lodos generados en un biodigestor contienen excelentes nutrientes para el suelo que pueden ser utilizados como fertilizantes en el área agrícola de cualquier empresa de este género, reduciendo de esta forma la emisión de GEI (Gases de efecto invernadero) práctica actualmente usada en la compañía por el biodigestor que se encuentra operando en la planta Tecún Umán, San Marcos.

## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la planta procesadora de mayonesa ubicada en el municipio de Fraijanes existe una falta de tecnología adecuada para el tratamiento de sus aguas residuales, esto tiene como consecuencia la contaminación de los cuerpos receptores.

Los tratamientos de agua residual convencional tienen costos muy elevados y no agregan un valor agregado.

El presente informe pretende dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Un biodigestor será el tratamiento adecuado para las aguas residuales, provenientes de una planta productora de mayonesa?
- ¿Cuál es el tratamiento adecuado, para los derivados del tratamiento de las aguas residuales de una planta de mayonesa?
- ¿Cuál es el nivel de calidad del biogás producido con agua residual de la planta productora de mayonesa?
- ¿Es necesario agregar una carga contaminante a los residuos provenientes de la planta productora de mayonesa para agilizar el proceso de digestión anaerobia?



## **6. ALCANCE DEL TEMA**

El presente estudio se limita a evaluar variables relevantes en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de una planta productora de mayonesa en un reactor anaeróbico, este análisis se realizará en un laboratorio de la misma planta procesadora con algunos equipos provenientes de un laboratorio externo, con esto se detallarán todos los pasos previos al diseño de un biodigestor a gran escala.

Uno de los principales riesgos del proyecto es que no se tengan los equipos necesarios de la planta, personal de mantenimiento y personal de laboratorio de aguas residuales.

El proyecto puede replicarse en todas las industrias de mayonesa, aderezos a nivel nacional y en la industria alimentaria en general.





## 7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 7.1. Biodigestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etcétera) y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etcétera) y compuestos de difícil degradación.

El biogás contiene un alto porcentaje en metano,  $\text{CH}_4$  (entre 50% al 70%), por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, turbinas, calderas o mezclado con otro combustible.

El proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados.

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, aguas residuales de las industrias de transformación y procesamiento de alimentos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etcétera.

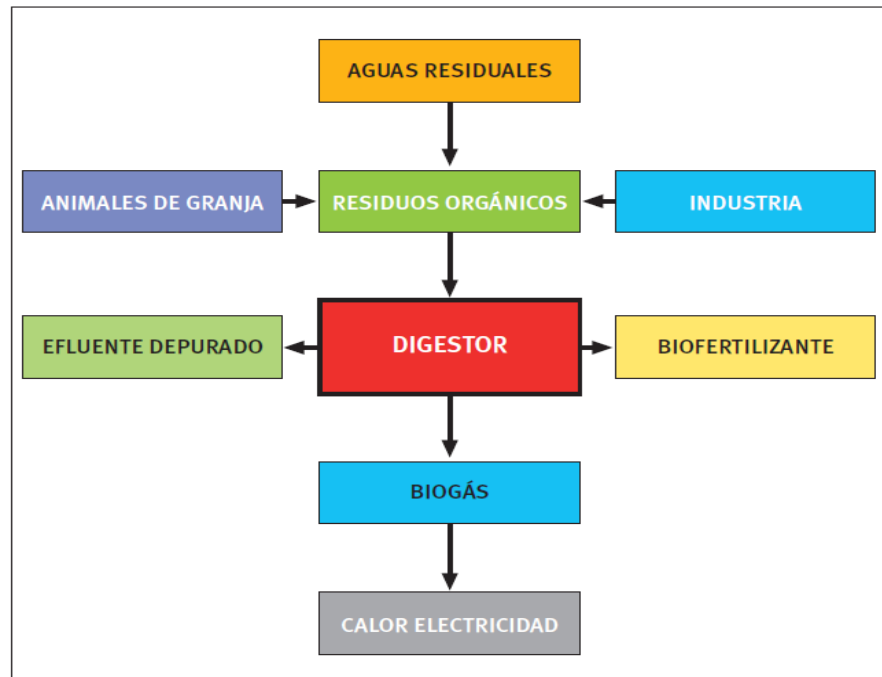
Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o juntos, mediante lo que se da en llamar codigestión.

La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimentarias.

Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son: reducción significativa de malos olores, mineralización, producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH<sub>4</sub>, (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al CO<sub>2</sub>) y reducción del CO<sub>2</sub> ahorrado por sustitución de energía fósil.

La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás colectivos (varias granjas) y de codigestión (tratamiento conjunto de residuos orgánicos de diferentes orígenes en una zona geográfica, usualmente agropecuarios e industriales) permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas, con beneficios sociales, económicos y ambientales.

Figura 1. **Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia**



Fuente: BESEL, S.A, Biodigestores anaerobios. 2007.

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable y tengan una composición y concentración relativamente estable. La codigestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro.

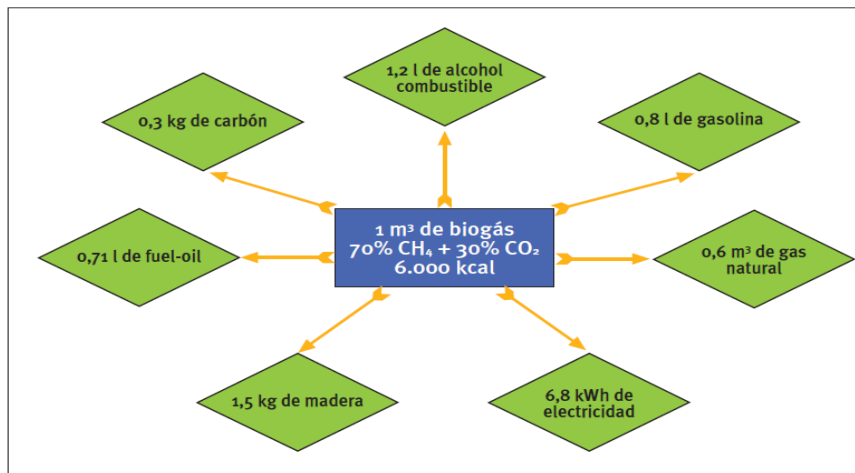
### 7.1.1. **Biogás**

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos.

Su composición, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada, puede ser la siguiente: 50% al 70% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30% al 40% de anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ),  $\leq 5\%$  de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros gases.

Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5 500 kilocalorías/newton metro cúbico (6,4 kilovatio/newton metro cúbico). Es decir, salvo por el contenido en  $\text{H}_2\text{S}$ , es un combustible ideal, con unas equivalencias que se muestran en la figura siguiente:

Figura 2. **Equivalencias de biogás con otras fuentes de energía**



Fuente: BESEL, S.A, Biodigestores anaerobios. 2007.

### **7.1.2. Bioquímica y microbiología de los procesos anaeróbicos**

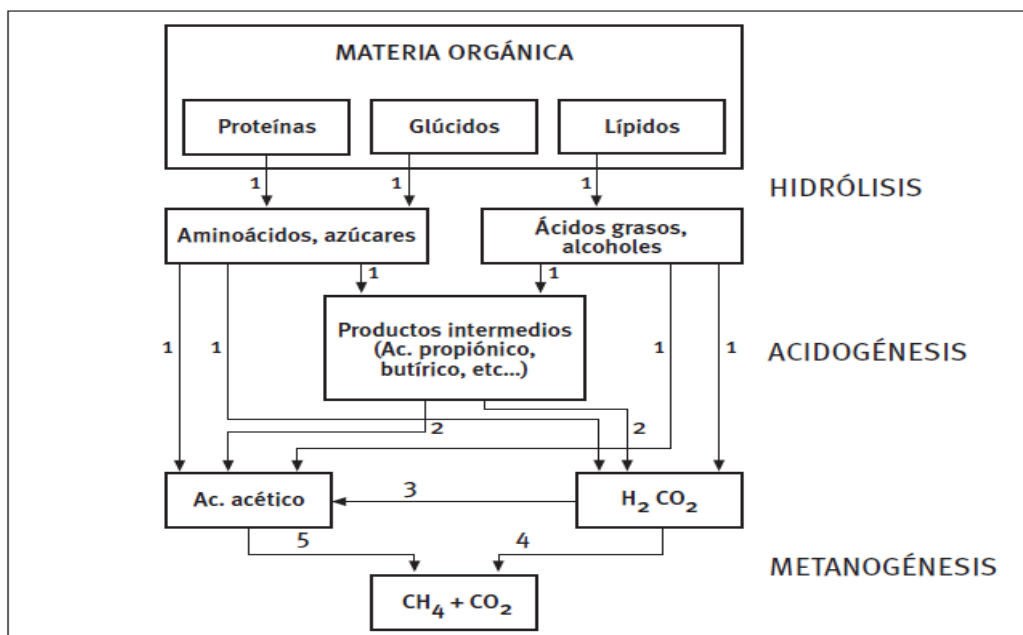
La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del sustrato (término genérico para designar, en general, el alimento de los microorganismos), interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos (figura 3). Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por seres de diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor (por ejemplo,  $H_2$ , ácido acético o amoníaco producido de la acidogénesis de aminoácidos).

Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH.

Para la estabilidad del pH es importante el equilibrio  $CO_2$ -bicarbonato. Para hacer posible algunas reacciones es necesaria la asociación sintrófica entre bacterias acetogénicas y metanogénicas, creando agregados de bacterias de estas diferentes poblaciones. Lo anterior implica que las puestas en marcha de los reactores sean, en general, lentas, requiriendo tiempos que pueden ser del orden de meses. En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo, para sustratos solubles, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor.

Con esto se pueden conseguir sistemas con tiempo de proceso del orden de días. Para residuos en los que la materia orgánica esté en forma de partículas, la fase limitante es la hidrólisis, proceso enzimático cuya velocidad depende de la superficie de las partículas. Usualmente, esta limitación hace que los tiempos de proceso sean del orden de semanas, de dos a tres. Para aumentar la velocidad, una de las estrategias es el pretratamiento para disminuir el tamaño de partículas o ayudar a la solubilización (maceración, ultrasonidos, tratamiento térmico, alta presión o combinación de altas presiones y temperaturas).

Figura 3. **Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos**



Fuente: BESEL, S.A. Biodigestores anaerobios. 2007.

### 7.1.3. Claves de la digestión anaerobia

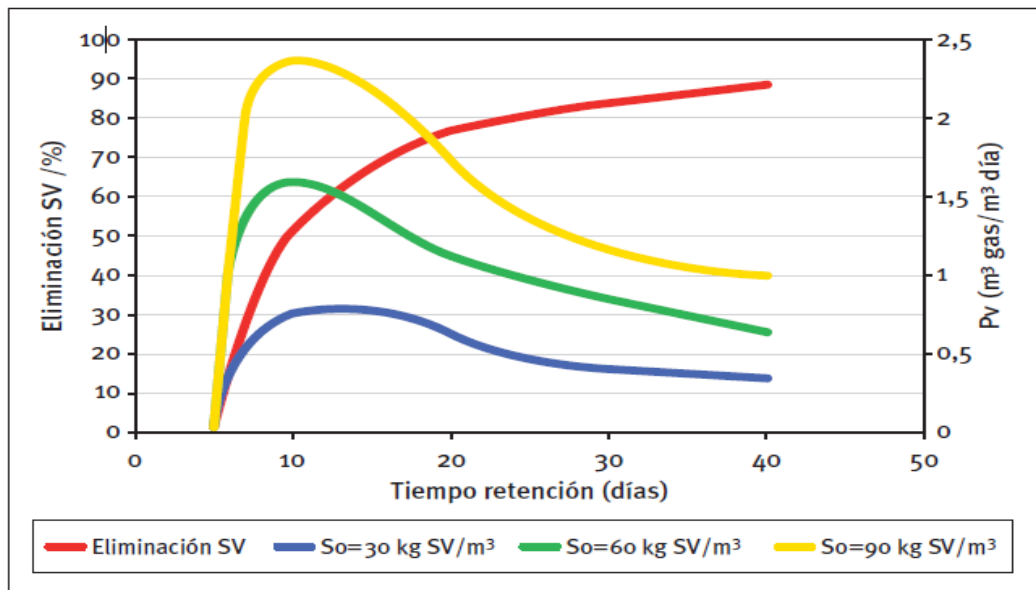
Los parámetros ambientales que hay que controlar hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso, estos son:

- pH, que debe mantenerse cercano a la neutralidad.
- Alcalinidad, para asegurar la capacidad tampón y evitar la acidificación es recomendable una alcalinidad superior a 1,5 g/l  $\text{CaCO}_3$ .
- Potencial redox, con valores recomendables inferiores a 350 mV.
- Nutrientes, con valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos.
- Tóxicos e inhibidores, cuya concentración ha de ser la mínima posible, los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones de trabajo de los reactores.
- Temperatura, podrá operarse en los rangos psicrófilico (temperatura ambiente), mesófilico (temperaturas en torno a los 35 grados Centígrados) o termófilico (temperaturas en torno a los 55 grados Centígrados), las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco en el rango termófilico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos.
- Agitación en función de la tipología de reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia.

#### 7.1.4. Tiempo de retención

Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos. En la figura 4 se indica la tendencia general de los índices de eliminación de materia orgánica (expresada en forma de sólidos volátiles, SV) y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención.

Figura 4. **Eliminación de sólidos volátiles y producción volumétrica de gas**



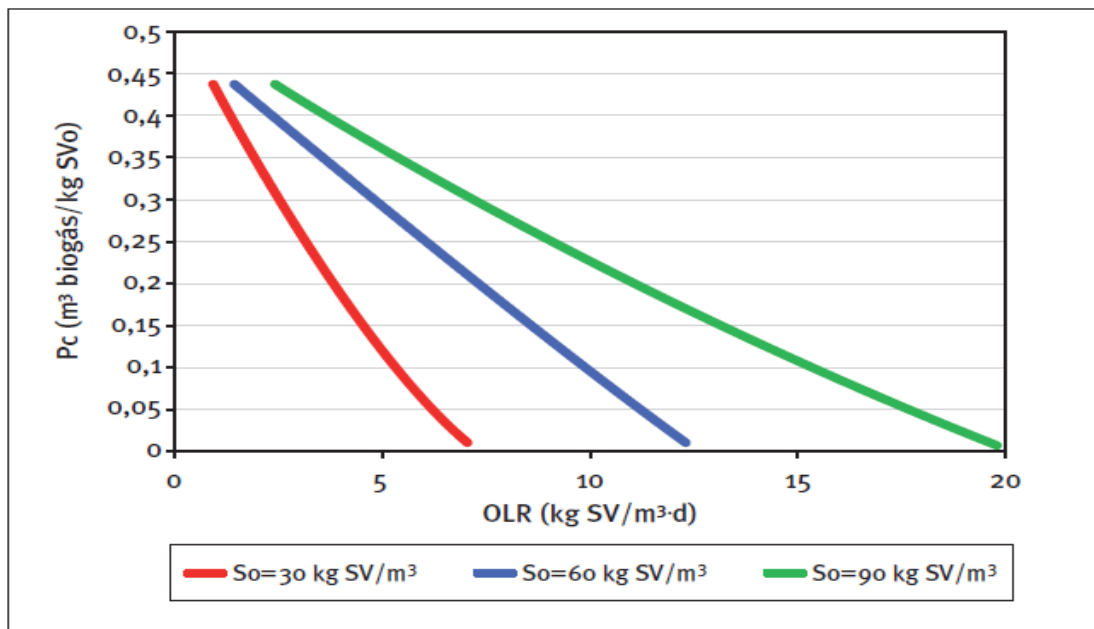
Fuente: CARRILLO, L. Rumen y Biogás. 2003.



### 7.1.5. Velocidad de carga orgánica

Es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y elevado tiempo de retención. El incremento en la VCO implica una reducción en la producción de gas por Claves de la digestión anaerobia 17 unidad de materia orgánica introducida (ver figura 5), debiendo encontrar un valor óptimo técnico/económico para cada instalación y residuo a tratar.

Figura 5. Producción de gas por unidad de carga en función de la velocidad de carga orgánica (VCO)



Fuente: CARRILLO, L. Rumen y Biogás. 2003.

Los residuos orgánicos de la industria alimentaria presentan potenciales de producción variables, pero usualmente elevados cuando contienen un elevado contenido en lípidos, en la tabla 1 se indican producciones de biogás relativas a residuos en bruto, notándose la elevada producción para los aceites vegetales y la baja producción para los lodos residuales de plantas depuradoras, básicamente por su baja concentración en materia orgánica (alto contenido en agua). Notar que los valores relativos para lodos de depuración son del orden de 0,55 metros cúbicos de biogás por kilogramos de sólidos volátiles.

**Tabla I. Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria**

Tipo	Contenido orgánico	Sólidos volátiles (%)	Producción de biogás (m <sup>3</sup> /tonelada)
Intestinos + contenidos	Hidratos de carbono, proteínas, lípidos	15-20	50-70
Fangos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
BBO (tierras filtrantes de aceites, con bentonita)	80% lípidos, 20% otros orgánicos	40-45	350-450
Aceites de pescado	30-50% lípidos	80-85	350-600
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Suero concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y huesos	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Mermeladas	90% azúcares, ácidos orgánicos	50	300
Aceite soja/margarinas	90% aceites vegetales	90	800-1000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Fangos residuales	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	15-20	85-110

Fuente: BESEL, S.A, Biodigestores anaerobios. 2007.

## **7.2. Factores técnicos a considerar en biodigestores**

Antes de introducir los residuos orgánicos dentro del reactor hay que realizar una serie de operaciones de acondicionamiento. Dependiendo del tipo de reactor, el grado de pretratamiento será diferente.

La finalidad de estas operaciones es introducir el residuo lo más homogéneo posible, con las condiciones físico-químicas adecuadas al proceso al que va a ser sometido y sin elementos que puedan dañar el digestor.

La forma de acondicionar los residuos de entrada pueden ser por pretratamientos, reducción del tamaño de partícula, espesamiento, calentamiento, control de pH, eliminación de metales y eliminación de gérmenes patógenos.

Cuando se manejan ciertos sustratos, como los purines, es muy importante no almacenar demasiado tiempo, ya que decae muy deprisa la productividad de biogás, al producirse fermentaciones espontáneas.

Entre los factores importantes para el funcionamiento de los digestores figuran: la temperatura, la concentración de sólidos, la concentración de ácidos volátiles, la formación de espuma, la concentración de nutrientes esenciales, las sustancias tóxicas y el pH.

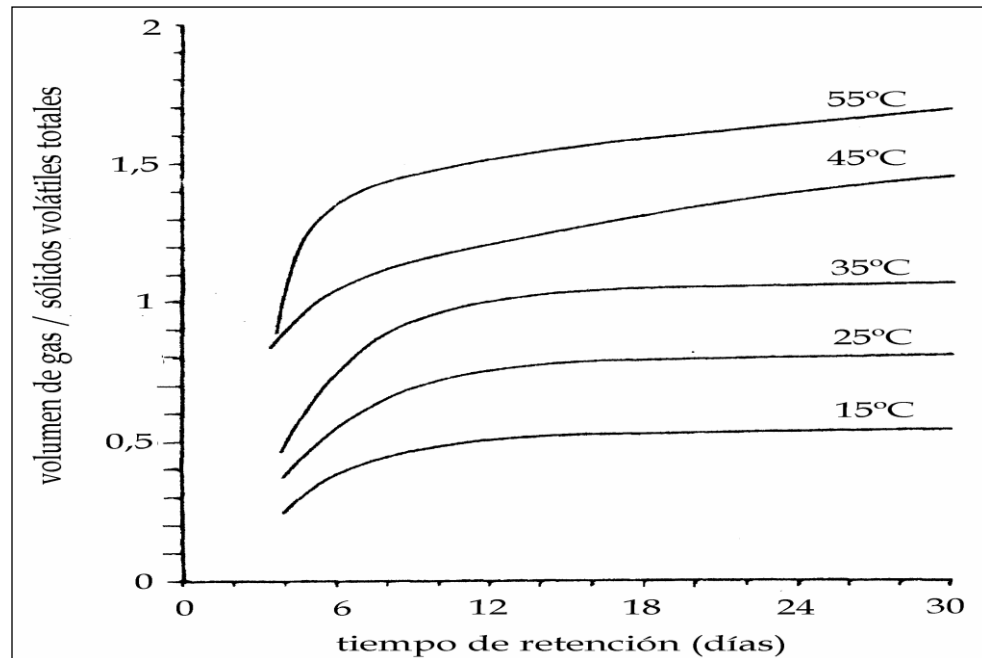
### **7.2.1. La temperatura**

La gama de temperatura para la digestión anaeróbica tiene dos zonas óptimas una mesófila (30 a 40 grados Centígrados) y otra termófila (45 a 60 grados Centígrados). Casi todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperaturas mesófilas y la digestión óptima se obtiene a unos 35 grados Centígrados. La velocidad de digestión a temperaturas superiores a 45 grados Centígrados es mayor que a temperaturas más bajas, sin embargo, las bacterias son sumamente sensibles a los cambios ambientales especialmente una disminución repentina de sólo unos pocos grados.

En la figura 6 se ven las relaciones típicas que existen entre la producción de gas y la temperatura con diferentes tiempos de retención. Por ejemplo, en un digestor donde los residuos permanecen 12 días, la producción de gas por unidad de sólidos volátiles totales añadidos diariamente, es 20% mayor a 45 grados Centígrados que 35 grados Centígrados.

En los climas cálidos, donde no existen temperaturas de congelación, los digestores pueden funcionar sin añadir calor, pero hay que aumentar en cambio el tiempo de retención. La regulación de la temperatura puede lograrse haciendo circular agua caliente a través del tanque por medio de termointercambiadores. Las causas principales de una excesiva producción de ácidos volátiles son la elevada velocidad de carga, una baja temperatura y la formación de espuma que constituye una zona favorable para los acetógenos.

Figura 6. **Producción de biogás (días) con cambios de temperatura**



Fuente: FERNÁNDEZ, C. CASTAÑEDA, R. BARBARÚ D. SÁNCHEZ (n.d).

### 7.3. **Contribución del biogás en el calentamiento global**

Existen tres importantes aportes de los proyectos de biogás:

- Los proyectos de generación de biogás reducen la emisión de metano a la atmósfera.
- Los proyectos de uso de biogás reemplazan el uso de energía de la red o combustibles fósiles, contribuyendo a la reducción de dióxido de carbono.
- El metano y el dióxido de carbono son dos gases de efecto invernadero que se busca reducir para disminuir el impacto del calentamiento global.

Las actividades humanas son responsables de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que aumentan considerablemente las cantidades que naturalmente existen en la atmósfera, a lo que se le atribuye la responsabilidad de alterar el fenómeno natural del efecto invernadero y provocar el calentamiento global.

Los proyectos de biogás pueden contribuir a la reducción de GEI generados por los humanos, principalmente el metano ( $\text{CH}_4$ ) proyectos de generación de biogás) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) reducen la emisión a la atmósfera de uno de los GEI responsables del calentamiento global: el metano ( $\text{CH}_4$ ).

Los proyectos de uso de biogás utilizan dicho gas para la generación de energía renovable, sustituyendo el uso de combustibles fósiles, biomasa y/o el uso de la energía de la red. Dichos proyectos contribuyen a la mitigación del calentamiento global dado que reducen el uso de fuentes no renovables que son responsables de la emisión de gases, principalmente del dióxido de carbono.

Entre las opciones de actividades que contribuyen a la mitigación del calentamiento global, relacionadas con proyectos de biogás están:

- El mercado de carbono
- Medición de la huella de carbono y certificación del cálculo

Ambas opciones han sido creadas con el propósito de incentivar la reducción o absorción de GEI emitidos por la actividad humana y los proyectos de biogás se pueden beneficiar de ellas.

Es importante mencionar que el desarrollo de un proyecto de biogás es independiente de la factibilidad o no de participar en una de las dos oportunidades presentadas.

#### **7.4. Factores a considerar en la construcción de un biodigestor industrial**

Para la instalación de un biodigestor se deben considerar aspectos que tienen relación con las regulaciones ambientales locales y dependiendo del tamaño del proyecto se deberá presentar un estudio de impacto ambiental, los factores a considerar son:

##### **7.4.1. Ubicación**

Se deberán considerar las siguientes restricciones para la ubicación del biodigestor:

- Evitar la cercanía de aeródromos de servicio público o aeropuertos.
- No ubicarlos dentro de áreas naturales protegidas.
- Se deberá instalar a una distancia mínima de 500 metros de cualquier núcleo poblacional.
- La distancia con respecto a cuerpos de aguas superficiales deberá ser de 500 metros como mínimo.
- El manto freático deberá encontrarse a una distancia mínima de 7 metros.

#### **7.4.2. Separador de sólidos**

Dependiendo del sistema de manejo de las aguas residuales (tamaño) se puede instalar un separador de sólidos para evitar taponamientos en las tuberías, degradación lenta, mayor tiempo de retención y por ende mayor tamaño de biodigestor.

#### **7.4.3. Fosa de mezclado**

Se considera la instalación de una fosa de mezclado que concentre los influentes de la unidad productiva ya sea aprovechando la gravedad o mediante sistemas de bombeo, esta servirá para monitorear el sistema agua-sólidos que ingresarán al biodigestor.

#### **7.4.4. Tuberías del influente**

La tubería será dimensionada en función a las características del gasto diario del influente (metros cúbicos por hora o litros por hora), tomando en consideración sus propiedades termodinámicas, físicas, como el tamaño de partículas, cuyos parámetros se utilizaran para el cálculo del diámetro de la tubería, de tal manera que se permita el flujo del gasto establecido en el diseño volumétrico del biodigestor. Se recomienda utilizar tuberías tipo PVC.



#### **7.4.5. Tuberías de conducción del biogás**

La tubería se debe seleccionar con el espesor de pared suficiente para soportar la presión de diseño del biodigestor y en su caso, resistir cargas externas previstas. Cada componente de la tubería deberá ser diseñado para resistir las presiones de operación y las características termodinámicas del gas, a efecto de que estas operen adecuada y eficientemente en el momento de máxima demanda de biogás.

#### **7.4.6. Tuberías de extracción de sólidos**

Se deberá instalar la tubería de extracción de sólidos, para remover el material sedimentado en el interior del digestor debido al proceso, para evitar que se llegue a azolvar y que disminuya el volumen de operación del biodigestor.

Se localizará a 60 centímetros de profundidad sobre la corona y a 1 metro del inicio del talud. Será de tubería de 4 pulgadas de diámetro, de PVC hidráulico de cédula 40 o RD 26,5 y correrá paralelamente a la pared interior del biodigestor llegando a la plantilla para extraer los sólidos de la parte inferior.

#### **7.4.7. Sistema de agitación**

Se instalarán sistemas de agitación que prevengan la sedimentación y acumulación de sólidos, el taponamiento de tuberías, así como, para garantizar perfiles de temperatura constantes dentro del biodigestor y una eficiente interacción entre microorganismos y el sustrato.

#### 7.4.8. Colocación de geomembrana

Para los biodigestores, la membrana que se colocará para la hermeticidad del biodigestor, deberá cumplir con las normas descritas en los estándares GM13 y GM 17 del Instituto de Investigación de Geosintéticos (GRI por sus siglas en inglés).

La geomembrana, que se considere utilizar para la implementación de los proyectos, deberá cumplir como mínimo con las siguientes propiedades de la tabla II:

Tabla II. **Propiedades a considerar en la selección de geomembrana**

<b>Propiedades mínimas consideradas en la selección de geomembrana</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Nominal</b>
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	940
Resistencia al Desgarre	N	210
Resistencia al Limite Elástico	N/mm	25
Estiramiento al Límite Elástico	%	13
Resistencia a la Rotura	N/mm	43
Estiramiento a la rotura	%	700

Fuente: Secretaría de recursos naturales y medio ambiente México. 2010.

Asimismo, el proveedor debe garantizar que la geomembrana seleccionada resista las condiciones del proyecto, como por ejemplo, características del biogás, presión del biogás, desgaste por radiación ultravioleta, temperaturas ambientales e internas, entre otras, el espesor de la geomembrana que cubrirá la base del biodigestor deberá ser de al menos 60 milésimas de pulgada (1,5 milímetros).

Debe ser igual al de la cubierta, para evitar rupturas en el material más débil, en caso de incrementos de presión por acumulación de biogás, la vida útil de estas geomembranas deberá ser de más de 20 años y se deberá garantizar por al menos 10 años.

#### **7.4.9. Quemador de biogás**

El quemador será diseñado en función al flujo de biogás que se considere disponer en este sistema, tendrá una capacidad de al menos igual a la producción máxima de biogás prevista.

Deberá ser fabricado de preferencia con placa de acero inoxidable (no usar acero al carbón), con un diámetro mínimo de 18 pulgadas. Contendrá un elemento aislante en el interior de la cámara de combustión que resista temperaturas superiores a las que se puedan alcanzar durante la combustión del gas.



## 8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Es posible tratar las aguas residuales generadas en una planta procesadora de mayonesa a través de un biodigestor anaerobio.

Variables independientes

- Tiempo de residencia (días)
- Cantidad de aguas residuales utilizada (kg)

Indicadores

- Volumen de biogás producido ( $m^3$ )
- pH
- Sólidos totales (gr/L)
- Temperatura ( $^{\circ}C$ )



## 9. CONTENIDO

El contenido del presente trabajo enfoca presentar resultados que midan cuantitativamente el comportamiento de las variables, sólidos totales disueltos, pH y temperatura con el volumen de biogás generado en el medio y la medición de la calidad del mismo.

### Capítulo I

#### Biodigestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o biogás y en digestato, que es una mezcla de productos minerales como nitrógeno, carbono, potasio, calcio y compuestos de difícil degradación. El biogás contiene un alto porcentaje en metano entre el 50 al 70 por ciento, por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético mediante su combustión en motores, en turbinas, en calderas o bien sólo o mezclado con otros combustibles gaseosos.

### Capítulo II

#### Microbiología de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases consecutivas diferenciadas en el proceso de degradación del substrato interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos, esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del substrato.

### Capítulo III

#### Importancia de los proyectos de biogás en la mitigación del calentamiento global

Los proyectos de generación de biogás reducen la emisión de metano a la atmósfera, el uso de biogás reemplaza el uso de energía de la red o combustibles fósiles, contribuyendo a la reducción de dióxido de carbono. El metano y el dióxido de carbono son dos gases de efecto invernadero que se busca reducir para disminuir el impacto del calentamiento global.

### Capítulo IV

#### Factores de importancia en la construcción de un biodigestor

Los factores más importantes a considerar en la construcción de un biodigestor anaerobio son: ubicación, el separador de sólidos la fosa de mezclado, la tubería del influente, tubería de conducción del biogás, tubería de extracción de sólidos, sistema de agitación, construcción de la geomembrana, quemador de biogás.

### Capítulo V

#### Resultados y discusión de resultados obtenidos

### Capítulo VI

#### Conclusiones y recomendaciones



## 10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

El presente trabajo de investigación se considera del tipo descriptivo, el estudio se diseñó en 3 fases: la primera consiste en evaluar las condiciones fisicoquímicas actuales de las aguas residuales, la segunda fase se obtendrán todos los datos cuantitativos de las variables a manejar contra la medición del volumen de biogás, en la tercera fase se evaluará la calidad del biogás generado, los datos se tomarán con los equipos detallados a continuación:

- Balanza analítica. Marca: METTLER. Modelo: AE200. Capacidad: 300 g
- Contador de gas: Gallus 2000
- Horno, marca: Thermo, Serie: Precisión, Temperatura máxima: 800 °C
- Mufla, número 133650, mod. 367 PE, marca P SELECTA
- Termómetro Celsius de mercurio, escala de 0,1 °C de -2 a 68°C

Figura 7. **Horno**



Fuente: Laboratorio Olmecca, S.A.

Figura 8. **Mufla**



Fuente: Laboratorio Olmecca, S.A.

Figura 9. **Balanza analítica**



Fuente: Laboratorio Olmeca, S.A.

Figura 10. **Centrífuga**



Fuente: Laboratorio Olmeca, S.A.

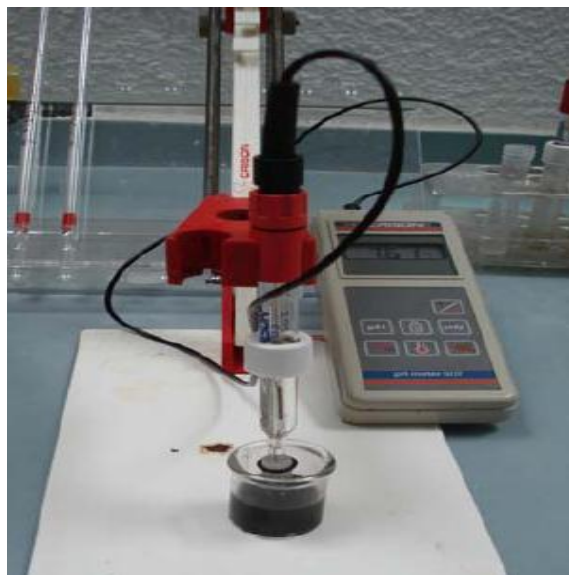
## 10.1. **Técnicas analíticas**

A continuación se presentan las técnicas analíticas usadas para las cuantificaciones de los parámetros de control, operacionales y de alimentación que se analizarán en los experimentos.

### 10.1.1. **Procedimiento para determinar pH**

Se debe calibrar el potenciómetro según las instrucciones del fabricante, se introduce el electrodo en la muestra que se desea analizar, dejando que se estabilice y se anota el pH obtenido.

Figura 11. **Potenciómetro**



Fuente: Laboratorio Olmecca, S.A.

### **10.1.2. Procedimiento para determinar temperatura**

La temperatura de las muestras se mide con un termómetro de mercurio de escala centígrados, con escala de 0,1 grados centígrados sobre el tubo capilar, luego se anota la temperatura leída.

### 10.1.3. Procedimiento para determinar porcentaje de sólidos totales

Se preparan las cápsulas, estas se deben secar durante 15 minutos a 550 grados Centígrados. Introducir las posteriormente en un desecador, enfriar y pesar hasta peso constante ( $P_0$ , g).

Se miden aproximadamente 100 mililitros de muestra. Secando la muestra en la estufa a 100 grados Centígrados durante 24 horas, con el fin de secar la muestra. Se introduce en un desecador y se deja enfriar luego se pesa nuevamente ( $P_1$ , g).

Cálculo de los sólidos totales de la muestra:

$$\text{Sólidos totales} = \frac{P_1 - P_0}{V}$$

(Ecuación 1)

### 10.1.4. Procedimiento para calcular porcentaje de humedad

El proceso de análisis más sencillo es el de secado al horno que consiste en preparar las capsulas, secar las cápsulas durante 2 horas a 120 grados Centígrados. Introducir las posteriormente en un desecador, enfriar y pesar hasta peso constante ( $P_0$ , gr.). Se pesa aproximadamente 100 gramos de muestra tomada, se pesa la cápsula que contiene la muestra de agua residual ( $P_1$ , gr.), se seca la muestra en un horno de 60 a 75 grados Centígrados de 24 a 48 horas, con el fin de eliminar toda la humedad de la muestra.

Introducir la muestra en un desecador, dejar enfriar y pesarla de nuevo (P2, gr.), calcular la humedad de la muestra:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{gr. de agua}}{\text{gr. de muestra}} \times 100 = \frac{(P_1 - P_2)}{(P_1 - P_0)} \times 100$$

(Ecuación 2)

#### **10.1.5. Procedimiento para cuantificar la cantidad de biogás**

Para analizar la cantidad de biogás producido en los sistemas de digestión en monoetapa mesofílica utilizando diferentes sustratos, se instaló un contador de gases Gallus 2000, que cuenta con cámaras de medida de paredes deformables. Su diseño consiste en cámaras gemelas, ambas dotadas de unas membranas sintéticas que son desplazadas por la diferencia de presión entre la entrada y la salida, el sistema de transmisión se basa en una válvula de distribución rotativa que comunica el movimiento al totalizador a través de un sistema prensaestopas.

El grupo de medida se aloja en una sólida caja de acero. La toma de lectura es directa, protegida frente a la corrosión a través de un sistema de tratamiento superficial interior y exterior, la medida de producción se determinará en horas.

Figura 12. **Contador de gases**



Fuente: Laboratorio Olmeca S.A.

## 10.2. Sistema de muestreo a utilizar

La toma de muestras es una operación muy importante y delicada, ya que de ella dependen los buenos o malos resultados de los análisis que se realicen y el valor de cualquier resultado de laboratorio depende de una adecuada toma de muestras y de su conservación hasta la realización de los análisis.

El objeto de cualquier muestreo es recoger, en este caso, una porción de aguas residuales lo suficientemente pequeña para ser convenientemente manejada en el laboratorio y que sea representativa del origen.

Las muestras de agua de proceso de la planta de mayonesas se colectarán mediante recipientes toma muestra que acumula por 24 horas diferentes muestreos, esto da una mejor distribución de los resultados finales pues un período mayor entre muestreo acarrearía un descenso en el potencial de hidrógeno y un cambio en las características de sedimentación desfavorables al sistema. Se determinarán diariamente al efluente.

### **10.3. Análisis estadístico a utilizar**

Se realizará un análisis estadístico de regresión lineal entre concentración de sólidos totales y volumen de biogás generado, entre pH y volumen de gas generado y temperatura del medio y volumen de gas generado. Se realizará una regresión múltiple entre sólidos totales, pH y temperatura contra volumen de gas generado, se realizará también una diferencia entre los valores cuantificados de biogás en condiciones normales de salida y con condiciones de temperatura, potencial de hidrógeno y concentración de sólidos óptimos para la generación de biogás.












## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El trabajo de investigación se desarrollará en un período de cinco meses iniciando en febrero del 2013 y finalizando en junio de 2013:

Tabla III. **Cronograma de actividades del proyecto**

MES ACTIVIDADES	Febrero 2013	Marzo 2013	Abril 2013	Mayo 2013	Junio 2013
Evaluación bajo condiciones de salida normales de ST, pH, temperatura contra volumen de gas generado.					
Evaluación de diferentes concentraciones de sólidos en evaluación del volumen de biogás generado.					
Evaluación de diferentes pH contra volumen de biogás generado.					
Evaluación de diferentes temperaturas contra volumen de biogás generado.					
Evaluación de condiciones óptimas para evaluar biogás generado con adición de diferentes concentraciones de inoculo.					
Determinación de la calidad del biogás.					
Cuantificación del biogás m <sup>3</sup> generado por hora, días.					

Fuente: elaboración propia.



## 12. RECURSOS NECESARIOS

En el rubro de recursos humanos se colocarán todos los costos de pago a técnicos y profesionales que intervendrán en el proyecto, costos de laboratorio externo, estos pueden variar dependiendo del tiempo que requieran las mediciones y evaluaciones.

Tabla IV. Recursos necesarios

<b>Recurso</b>	<b>Unidades o Tiempo</b>	<b>Costo (Q)</b>
Analista	960 horas hombre	13 455,00
Laptop Toshiba AMD con Windows 7 y Office 2007 instalado (depreciación)	80 horas	455,00
Impresora Canon Jet 2700	1 unidad	269,00
Asesor de tesis	10 horas hombre	1 200,00
Análisis de laboratorio (costo de laboratorio externo)	16 análisis	12 800,00
Recipientes para muestras	60 unidades	240,00
Papel	300 unidades	160,00
	<b>Total</b>	<b>28 579,00</b>

Fuente: elaboración propia.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Barreto, S. Martin E, Pérez Y (n.d). Evaluación del funcionamiento de pequeña planta de Biogás, p.1, n.d.  
[www.reduc.edu.cu/147/04/2/14704211.pdf](http://www.reduc.edu.cu/147/04/2/14704211.pdf)
2. Batres, Alexis, El periódico (28 de mayo de 2011) el biogás transformando el estiércol en energía.  
[www.elperiodico.com.gt/es/20110528/economía/196028](http://www.elperiodico.com.gt/es/20110528/economía/196028)
3. Besel, S.A, Departamento de Energía (2007), Biomasa: Digestores Anaerobios, p. 5-19.
4. Carrillo, L (2003). Rumen y Biogás, p. 5-8 n.d.  
[www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf](http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagricap5.pdf)
5. FAO, Reunión regional sobre generación de biomasa a partir de electricidad, Uruguay 1995, Serie forestal No.7  
[www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0w.htm#TopOfPage](http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0w.htm#TopOfPage)
6. Fernández, C. Castañeda, R. Barbarú D. Sánchez Y (n.d). Construcción de un aparato en vidrio para cuantificar la generación de biogás en ensayos de laboratorio, p. 2-10, n.d.
7. Mandujano S. P. 2001. Digestión Anaerobia de Sólidos en Alta concentración. Tesis doctoral. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, UPM. Madrid n.d.

8. Montes, María Estela (2008) Estudio de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos. p. 205-216, 2008.
9. Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales en México (2010). Especificaciones técnicas para el diseño y construcción de Biodigestores en México.
10. Svetlana, Samayoa. Bueso, Carlos. Viquez, Joaquín (2012). Guía de implementación de sistemas de Biodigestión en ecoempresas. p. 48-52.