



**INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO,  
CAMPUS TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**



CARRERA:

**INGENIERÍA QUÍMICA**

**INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL**

NOMBRE DEL PROYECTO:

**“EVALUAR LA PRODUCTIVIDAD Y EFICIENCIA DE BIOGÁS  
EN UN SISTEMA DE BIORREACTORES”**

PRESENTA:

**GUILLEN SANTIZ ERICK IVAN**

ASESORES:

ASESOR EXTERNO:

**DR. NAHED TORAL JOSE**

ASESOR INTERNO:

**DR. ENCISO SAENZ SAMUEL**

REVISORES:

**DR. VILLALOBOS MALDONADO JUAN JOSE**

**ING. VAZQUEZ SOLIS ROBERTO DAVID**

**ENERO-JUNIO 2018**

## **INDICE**

---

<b>1.- AGRADECIMIENTOS</b> .....	3
<b>2.-RESUMEN</b> .....	5
<b>3.-INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>4.-CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE TRABAJO</b> .....	8
<b>5.-ANTECEDENTES</b> .....	9
<b>6.-OBJETIVOS</b> .....	10
<b>7.-JUSTIFICACION</b> .....	11
<b>8.-ALCANCES Y LIMITACIONES</b> .....	12
<b>9.-MARCO TEORICO</b> .....	13
<b>10.-METODOLOGÍA:</b> .....	26
<b>11.-CALCULOS DE VOLUMEN, ALIMENTACION Y TIEMPO DE RETENCION DEL BIODIGESTOR.</b> .....	32
<b>12.-RESULTADOS</b> .....	36
<b>13.-CONCLUSIONES</b> .....	43
<b>14.-RECOMENDACIONES</b> .....	44
<b>15.-ANEXOS</b> .....	45
<b>16.-BIBLIOGRAFÍA</b> .....	56

## 1.- AGRADECIMIENTOS

---

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión del Dr. Samuel Enciso Saenz, Dr. Jose Nahed Toral y a mi revisor externo al ing. Romeo Josué Trujillo Vázquez, a quienes me gustaría expresar mis más profundos agradecimientos, por hacer posible la realización de este estudio.

Además, de agradecer su paciencia, tiempo y dedicación que tuvieron para que esto saliera de manera exitosa.

Gracias por su apoyo, por formar parte de este proyecto de residencia profesional.

A Dios, por brindarme la oportunidad de vivir, por permitirme disfrutar cada momento de mi vida y guiarme por el camino que ha trazado para mí.

A mi madre Prof. Dora Guadalupe, Mama, donde quiera que te encuentres te agradezco el estar siempre conmigo, en mi mente, mi corazón y en mis acciones. Tu eres parte de este sueño, que el día de hoy se hace realidad y que en donde te encuentres sé que estarás muy orgullosa de ver en el hombre que me he convertido. Gracias a ti madre, te amo con todo mi corazón.

A mi Abuelita Doris, por brindarme su amor, su vida y por apoyarme siempre, en donde quiera que estés abuelita eres parte de mi vida y de este sueño. Te amo abuelita.

A mi hermano Carlos, Hermano, tu eres uno de mis motores que me impulsan a ser mejor cada día, tu eres y serás por siempre mi ejemplo a seguir, que sin tu ayuda no hubiera podido lograr este sueño.

Te agradezco tus consejos, tu compañía y que siempre estuviste para mí en los buenos y malos momentos.

Gracias por formar parte de mi vida, te amo hermano.

A mi cuñada Marissa, cuñada, muchas gracias por brindarme tu apoyo, tu amistad y por brindarme tus consejos. También por formar parte de este sueño y estar en los buenos y malos momentos que pasamos con mi hermano.

A mi esposa Monserrat, amor, gracias por siempre apoyarme, por tenerme paciencia, por soportar mis malos momentos y por nunca dejarme solo.

Gracias por ser la mujer maravillosa que eres, te amo.

A mi hija Nadia, princesa, tu eres mi motor de mi vida, tú me ayudaste a ser mejor cada día, con tus hazañas y cariños me hiciste el papa más feliz del mundo gracias a ti pude lograr esta meta te amo hija.

A mis tíos Rosi y Orlando, papas, gracias por haberme sacado adelante en los tiempos más difíciles de la vida por darme su apoyo incondicional, por haberme criado como uno de sus hijos por eso y mucho más les agradezco de todo corazón. Los quiero mucho.

A mis padrinos Leonel y Ginsilvi, padrinos, muchas gracias por su apoyo, por estar siempre conmigo y por formar parte de este logro tan importante de mi vida profesional. Gracias padrino los quiero mucho.

A mis suegros Guadalupe y Elvira, suegros, les agradezco mucho por ayudarme que este sueño sea posible, por brindarme su apoyo incondicional y por estar ahí cuando más los necesite. Muchas gracias.

A los suegros de mi hermano Raymundo y Florecita, muchas gracias por sus sabios consejos, por su apoyo incondicional, por estar conmigo y formar parte de mi sueño. Muchas gracias.

A mis tíos, tías, primas, primos, sobrinas y cuñados, por apoyarme y animarme a lograr este sueño que se está haciendo realidad.

A mis amigos, por ser parte de mi vida, de mis momentos tristes y alegres, por apoyarme, por nunca dejarme caer, por estar siempre ahí. A Daniel Zoma, Brenda Pulido, Adriel Alejandro, Naturi Cruz, Xanthia, Alexis Eduardo, Aurora Maldonado y Jonapa.

A mis maestros, que compartieron conmigo sus conocimientos para convertirme en un profesionalista, por su tiempo, dedicación y por su pasión por la actividad docente.

## 2.-RESUMEN

---

En el sector agropecuario de México, existe una gran cantidad de unidades productivas que generan diversos desechos orgánicos considerados como un problema de salud pública y de contaminación ambiental, principalmente por las emisiones de metano y dióxido de carbono; la digestión anaerobia controlada es un proceso adecuado para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En el presente estudio tiene como objetivo; construcción de un prototipo de biodigestor para evaluar la eficiencia de producción de biogás y proponer otros usos al biogás producido en un biodigestor utilizando excretas de ganado bovino.

La idea del prototipo de Biodigestor nace de analizar la problemática ambiental y de recursos que existe hoy en día. Con base a ello poder evaluar la producción de biogás que se genera por medio de las excretas de ganadería bovina, llevando a cabo la fermentación anaerobia durante un determinado tiempo y debida temperatura, y así mismo poderle dar otros usos viables al biogás como alternativas para la solución de un pequeño sector de estos problemas.

Una vez llevado a cabo el experimento se generaron presiones en un determinado tiempo que nos ayudó a poder graficar y obtener una ecuación con la que nos ayudaría a calcular las presiones que no se perciben al inicio del experimento a esa ecuación obtenida se le llama modelo cinético de segundo orden que es la siguiente:  $P = -0.0532t^2 + 1.0163t - 1.4004$  esta ecuación es la ideal para el prototipo de biodigestor que se construyó que con base a la ecuación obtenida se comparó con modelo matemático propuesto, el cual es de primer orden que genero una similitud en gráficas y se ajusta a la ecuación obtenida experimentalmente. Se puede decir que con este prototipo de biodigestor se logró alcanzar la producción de biogás en un tiempo de retención de 40 días.

Con los resultados obtenidos podemos demostrar que es factible construir biodigestores en comunidades, ya que se pueden armar con materiales reciclables que ayudan al ambiente en no seguir utilizando leña.

### 3.-INTRODUCCIÓN

---

Una vez el ser humano conoció y aprendió a utilizar el fuego, ha llegado a ser una de las actividades fundamentales para su subsistencia y desarrollo. El fuego puede ser generado por diferentes combustibles, entre ellos la biomasa vegetal (Robles-Gil, 2001), aproximadamente alrededor de tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, provocando junto a otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas (Arguello de Fernández, 1984; Robles-Gil, 2001).

Esta situación ha obligado a la búsqueda de alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, con bajo impacto ambiental y como fuente de energía considerada renovable, como la producción de biogás a partir de la fermentación de la materia orgánica (Yank et al., sf; Robles-Gil, 2001).

Según la literatura, en la India se construyó la primera instalación para producir biogás, en una fecha cercana a 1900; a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país miles de unidades (Aguilar & Botero, 2006). China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, con valores cercanos a los 10 millones de unidades (Guevara, 1996).

Durante los últimos años las poblaciones han crecido de manera considerable por lo que se tiene como consecuencia un requerimiento mayor de combustibles fósiles, puesto que estos forman parte fundamental para el desarrollo de las mismas.

El resultado de este aumento de población es el alza en los precios de dichos combustibles; los costos crecientes y la disponibilidad limitada de las fuentes minerales de energía, adicionados a la dificultad de su distribución en el medio rural y los altos costos hacen necesarios desarrollar métodos más eficientes y de bajo costo para reciclaje de las excretas y la producción de combustible.

Por lo general, los combustibles hoy en día son los derivados del petróleo como las gasolinas, los aceites, el gas LP, entre muchos otros. De estos combustibles el gas es uno de los más requeridos para la vida diaria de las personas.

En muchas zonas rurales es difícil poder satisfacer las necesidades básicas de combustible a causa de la falta de infraestructuras, la falta de mano de obra y por lo complicado que llega a ser el suministrarlo en la zona, por esto el uso de un biodigestor es una forma sustentable de que las poblaciones de dichos lugares, obtengan el gas combustible sin la necesidad de hacer una gran inversión o mediante una complicada infraestructura.

La importancia del uso de la biomasa y excretas de animales aporta grandes beneficios puesto que se convierte en rentable y saludable para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la consiguiente mejora del ambiente

rural, urbano e industrial. Puede ser, además, un modo de eliminar o reutilizar determinados excedentes agropecuarios, la opción del uso del biofertilizante generado bajo la tecnología del biodigestor permite responder a una demanda de la sociedad, y de esta forma ser más respetuoso del medio ambiente, y en particular promover la reducción de posibles fuentes de contaminación, además se obtienen diversos beneficios con el biogás, tales como: uso para cocinar en combustión directa en estufas simples y su aplicación en la generación de: iluminación, calefacción y como reemplazo de la gasolina en motores de combustión interna.

En este contexto el presente trabajo presenta la construcción de un prototipo de biodigestor para poder evaluar la producción de biogás, así como proponer otros usos que beneficien a la economía familiar y al ambiente, y con el residuo obtener el biofertilizante que sirve como abono para las plantas.

#### **4.-CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE TRABAJO**

---

El presente proyecto ha sido ejecutado por personal técnico académico de El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, perteneciente al Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente.

El prototipo de biodigestor se instaló en la ciudad de San Cristóbal de las casas, Chiapas. Cuyas coordenadas geográficas son: 16° 44' 15" Norte, 92° 38' 12" Oeste y posee una altitud de 2.133msnm (metros sobre el nivel del mar) con una población de 185,917 habitantes. clima templado y húmedo, con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 15.1 °C, precipitación media anual que es de 1216 mm y cuenta con una variedad de usos, costumbres y exquisita gastronomía.

Cabe hacer mención que la construcción de dicho prototipo está basado en dos biodigestores instalados con productores agropecuarios en los municipios de Mezcalapa y Tecpatán, Chiapas, que la institución tiene y atiende desde hace más de 2 años.



## 5.-ANTECEDENTES

---

En la actualidad el alto índice de consumo de recursos no renovables es un tema preocupante en el País, debido a la explotación y consumo de los combustibles fósiles, y el alto nivel de contaminación e impacto ambiental negativo que estos generan.

El hombre se ha visto en la necesidad de buscar nuevas fuentes de energías renovables que permitan la manutención del equilibrio de los ecosistemas. Un claro ejemplo de éstas es la Bioenergética (revista bioenergética, 2000). La base de este tipo de energía es la llamada Biomasa, término que se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas, desechos de animales y humanos.

El aprovechamiento de la Biomasa como fuente de energía ofrece varios beneficios ambientales tales como: contribuir a atenuar el cambio climático y el efecto invernadero, mantener el ciclo cerrado del carbono, reducir la lluvia ácida, prevenir la erosión de los suelos y disminuir la contaminación de las fuentes de agua.

El proceso consiste en el tratamiento anaeróbico de estiércol vacuno, a través de la digestión en un sistema de Reactor Anaeróbico, donde se va generar el biogás. Este proceso es realizado por bacterias, se libera una mezcla de gases formada por metano (el principal componente del biogás), dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y ácido sulfhídrico.

La producción de biogás creado en el reactor se emplea para la generación de energía calorífica de uso doméstico en la preparación de alimentos o el uso que sea necesario. Es un combustible económico y renovable. Además de aprovechar la materia considerada como desperdicio, origina como subproducto un fertilizante de calidad excelente.

Los datos revelan que, de los desechos de cinco vacas, o diez cerdos, se obtiene el biogás necesario para generar 3 kilovatios hora (kWh) de electricidad. La utilización de estas fuentes está vinculada al uso de tecnologías eficientes en el consumo de energía, que permitan que esta producción sea competitiva frente al uso de los combustibles derivados del petróleo (Vargas, 1992).

El ministro de Electricidad y Energía Renovable, Alecksey Mosquera, explica que siendo el Ecuador un país agrícola y ganadero, existe un gran potencial para la explotación de esta fuente de energía. De hecho, existen varios emprendimientos de generación de biogás a partir de la caña de azúcar y de la cascarilla de arroz, entre otros, que ya han demostrado la viabilidad de este tipo de proyectos.

## **6.-OBJETIVOS**

---

### **Objetivo general:**

Evaluar la cinética de producción de biogás en un prototipo de biodigestor.

### **Objetivos específicos:**

- Construir un prototipo de biodigestor en la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- Evaluar la producción de biogás obtenido del prototipo de biodigestor.
- Proponer alternativas para el aprovechamiento del biogás producido.

## 7.-JUSTIFICACION

---

En muchos países en vías de desarrollo hay una escasez grave de combustible y la crisis de energía es una realidad diaria para la mayoría de las familias urbanas y rurales. La devastación de bosques en países en vías de desarrollo se menciona hoy con frecuencia en los medios de comunicación.

La gente pobre migra, habita y cultiva nuevas áreas de los bosques, reservas y parques nacionales.

En zonas de difícil acceso al no poder depender de este medio se opta por los residuos derivados de la tala de árboles para consumo industrial y para producción de leña. Este factor es de los que más daño pueden causar al medio ambiente o a la salud, obliga de manera urgente buscar soluciones para poder reemplazar al gas LP y la leña por un gas más ecológico, que ayude a reducir en parte la deforestación existente en el país preservando así un buen ecosistema.

Dado que el deterioro del medio ambiente ha venido creciendo cada vez más, urge buscar alternativas ecológicas para aprovechar el estiércol de los animales. El proceso de biodigestión es un método eficiente y de bajo costo para la producción de energía renovable y limpia. A través de esta tecnología que procesa el estiércol de los animales, se puede producir combustible (biogás) y abono orgánico (efluente).

El presente proyecto se llevó a cabo a solicitud del centro de investigación de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), en la cual nos pide la construcción de un prototipo de biodigestor para poder resolver cierta problemática que percibe en la zona rural en cuanto a la generación de opciones alternativas para la producción de biogás en los dos biodigestores que tienen establecidos en los municipios de Mezcalapa y Tecpatán, Chiapas.

El proyecto consta en la construcción de un prototipo de biodigestor para poder evaluar la producción de biogás de dicho prototipo, con base a ello obtener la ecuación cinética para calcular la presión de gas producido en un determinado tiempo y así mismo proponer otros usos que beneficien a la economía del productor, para contribuir a reducir las emisiones de gas metano a la atmosfera como también a fortalecer la economía del medio rural.

## **8.-ALCANCES Y LIMITACIONES**

---

### **Alcances:**

- 1.- En el presente proyecto se llevó a cabo la construcción de un prototipo de biodigestor para llevar a cabo la producción de biogás en el colegio de la frontera sur ubicado en la ciudad de San Cristóbal de las Casas, Chiapas.
- 2.- Se evaluó la cinética de producción de biogás producido del prototipo de biodigestor, para con base a los resultados proponer otros usos al biogás.

### **Limitaciones:**

- 1.- Falta de información sobre la metodología para muestrear el biogás en viales.
- 2.- Carencia del equipo de laboratorio para evaluación del contenido de gases en las muestras obtenidas.
- 3.- Falta de recursos económicos para poder llevar a cabo la caracterización del biogás con otro método y equipo.
- 4.- Ausencia de recursos económicos para optimizar el adecuado funcionamiento del prototipo.
- 5.- No se dispuso de un lugar adecuado e idóneo para la instalación del prototipo de biodigestor.

## 9.-MARCO TEORICO

---

### **Biodigestor:**

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar, este puede ser excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera, en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y, además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos y desechos orgánicos(Guevara v. a., 1996).

### **Biodigestor tipo globo:**

Este tipo de plantas tiene en la parte superior un digestor de bolsa en el cual se almacena el gas, la entrada y la salida se encuentran en la misma superficie de la bolsa. Sus ventajas son bajo costo, fácil transportación, poca sofisticación de construcción, altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Sus desventajas son su corto tiempo de vida, alta susceptibilidad a ser dañado, baja generación de empleo y por lo tanto limitado potencial de autoayuda (cubasolar art.04-2000).



- 1.- Válvula de salida
- 2.-Almacenamiento de biogás
- 3.-Nivel de agua con materia orgánica

Fuente: [www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm)

## Producción de biogás:

Los materiales que ingresan y abonan el Biodigestor se denominan afluente y efluente respectivamente. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás (Guevara v. a., 1996).

## Biogás:

El biogás es el gas producido durante el proceso de fermentación anaerobia (sin presencia de oxígeno) de la fracción orgánica de los residuos. Está compuesto principalmente por Metano ( $\text{CH}_4$ ) y Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de otros gases en cantidades menores (Ciemat, 2010).

Cuando los desechos orgánicos inician el proceso químico de fermentación (pudrimiento), liberan una cantidad de gases llamados biogás. Con tecnologías apropiadas, el biogás se puede transformar en otros tipos de energía, como calor, electricidad o energía mecánica. Características generales del biogás ver tabla 1.1

Tabla 1.1. Características generales del biogás

Composición	55 – 70% metano ( $\text{CH}_4$ ) 30 – 45% dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de $\text{CH}_4$ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Deublein y Steinhauer (2008)

## Biodigestión:

Es la fermentación realizada por bacterias anaerobias sobre la materia orgánica y posee las ventajas siguientes:

-Proporcionar combustible para suplir las principales necesidades energéticas rurales.

-Reducir la contaminación ambiental al convertir las excretas, que hacen proliferar microorganismos patógenos, larvas e insectos, en residuos útiles.

-Producir abono orgánico, con un contenido similar al de las excretas frescas e igualmente útil para los suelos, los cultivos y para el desarrollo del fitoplancton y del zooplancton utilizado por algunas especies acuáticas en su alimentación.

## Proceso de biodigestión:

El proceso de digestión que ocurre en el interior del Biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. La duración de la reducción del material biológico depende de los microorganismos especiales y de sus temperaturas óptimas del crecimiento. Los principales componentes del biogás son el metano (CH<sub>4</sub>) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Aunque la composición del biogás varía de acuerdo con la biomasa utilizada, su composición aproximada, Ver Tabla 2:

**Tabla 2.** Composición del Biogás.

Gas	Fórmula Química	Volumen (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	30- 40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Sulfuro de hidrógeno	H <sub>2</sub> S	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Monóxido de carbono	CO	0.1

**Fuente:** Procesos Biológicos: La digestión anaerobia y el compostaje. Elena Campos, Xavier Elías y Xavier Flotats. Ediciones Díaz Santos. Madrid. 2012.

El metano, es el gas que le confiere las características combustibles al mismo, un combustible bastante limpio y eficiente que puede ser utilizado directamente. Los residuos de la fermentación (efluentes), contienen una alta concentración de nutrientes y materia orgánica, lo cual los hace susceptibles de ser utilizados como un excelente fertilizante que puede ser aplicado en fresco, ya que el proceso de digestión anaerobia elimina los malos olores y la proliferación de moscas. Otra ventaja es la eliminación de agentes patógenos presentes en las heces, lo cual significa que el efluente líquido puede ser utilizado para regadío de cualquier tipo de cultivos (FAO, 2000).

Un buen parámetro para determinar la calidad del biogás producido y como un indicador más de la estabilidad del proceso es el contenido de CO<sub>2</sub>. Cuando este empieza a incrementarse más allá del 40% el proceso empieza a disturbarse. De la Tabla 3, puede inferirse que una planta de biogás bien balanceada produce biogás con un contenido de CH<sub>4</sub>, entre el 60 y el 70% y hasta un 40% de CO<sub>2</sub> y trazas de otros elementos (Guevara v. a., 1996).

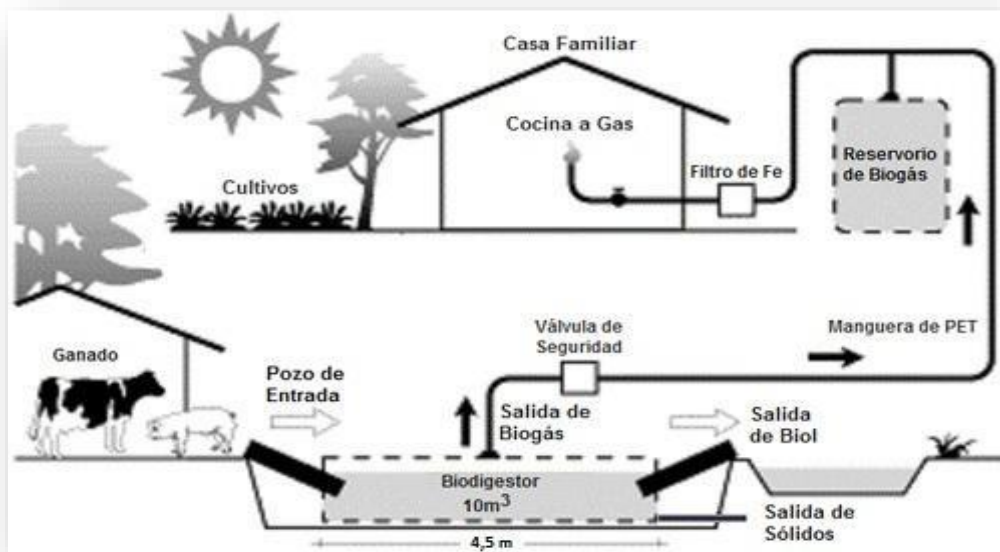
**Tabla 3.** Propiedades físicas y químicas del biogás.

Propiedad	Metano CH <sub>4</sub>	Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	Sulfuro de Hidrógeno H <sub>2</sub> S	Hidrógeno H <sub>2</sub>
Porcentaje en volumen	55-70	25-45	0.1	1-5
Valor energético $\frac{kcal}{L}$	9.0	-	-	2.9
Intervalo explosivo (% en V con aire)	5-15	-	4-46	6-71
Densidad (760 mmhg)	0.72	1.98	1.54	0.09
Gravedad específica (relativo al aire)	0.55	1.50	1.20	0.07
Temperatura crítica °C	82.5	31.1	100.4	239.9
Presión para licuefacción (PSI)	2000	-	-	-
Olor	Incoloro	-	Huevos podridos	-
Aire requerido en la combustión $\left(\frac{m^3}{m^3}\right)$	9.53	-	-	-
Razón de octano	130	-	-	-
Temperatura de ignición °C	650	-	-	-

Fuente: PIEDRAHITA VELÁZQUEZ, Daniel Rodrigo, "Elementos para una Tecnología sobre la Producción de Biogás". Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos.



Fuente: Energías renovables, de Francisco Jarabo Friedrich, España 2010



### **Biodigestión anaeróbica:**

Es un proceso degradante el cual parte de la materia orgánica, la cual sufre varias etapas biológicas hasta convertirse en biogás. En el interior de los recipientes, la digestión es intervenida por un grupo de macro organismos o bacterias que son las productoras de ácidos y las productoras de metano. Para que el proceso de fermentación se realice en forma normal, es preciso contar con la acción conjunta y combinada de los dos tipos de bacterias (acidogénicas y metanogénicas), el exceso o falta de cualquier tipo de bacteria, así como la actividad menor o mayor de cualquiera de estas, darán como resultado el desequilibrio cinético lo que lleva a la anormalidad o incluso el fracaso del proceso de fermentación. Los microorganismos que no producen metano se encargan de convertir productos orgánicos, como carbohidratos, proteínas y lípidos, en compuestos de moléculas más sencillos y más pequeños, que sean asimilables para las bacterias de metano. Hasta el presente, se reconocen cuatro grupos de bacterias que poseen diferentes funciones catabólicas sobre el carbono, en el proceso de degradación de la materia hasta llegar al metano, estos grupos son:

- a) Bacterias Hidrolíticas: Catabolizan sacáridos, proteínas, lípidos y otros contribuyentes menores de biomasa.
- b) Bacterias acetogénicas: Productoras de hidrógeno, Catabolizan ciertos ácidos grasos y productos finales neutros.
- c) Bacterias homoacetogénicas: Catabolizan compuestos mono carbonados y/o hidrolizan compuestos multicarbonos hacia la producción de ácidos acéticos.

d) Bacterias metanogénicas: Catabolizan acetatos compuestos mono carbonados para producir metano, contemplándose solo cuatro géneros.

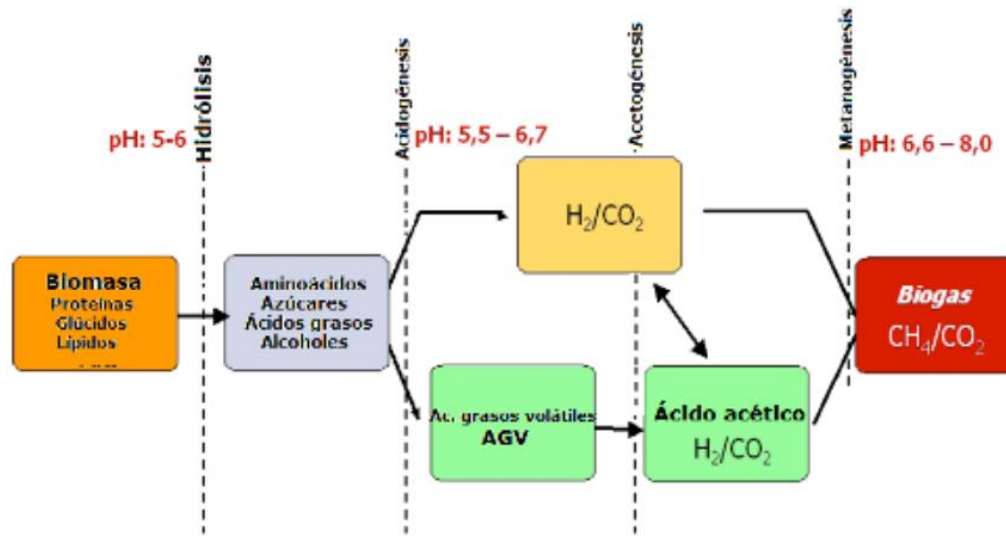


Figura 5: Esquema de los cuatro pasos de la digestión anaerobia [FNR, 2008]

### Etapas en el Proceso de Biodigestión Anaeróbica.

1.- Hidrólisis o licuefacción. Es el primer paso de la degradación anaeróbica, esta etapa se lleva a cabo por grupos enzimáticos extracelulares excretadas por las bacterias fermentativas. Esta etapa puede ser una limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido de sólidos (Riquelme Pérez J. 2011).

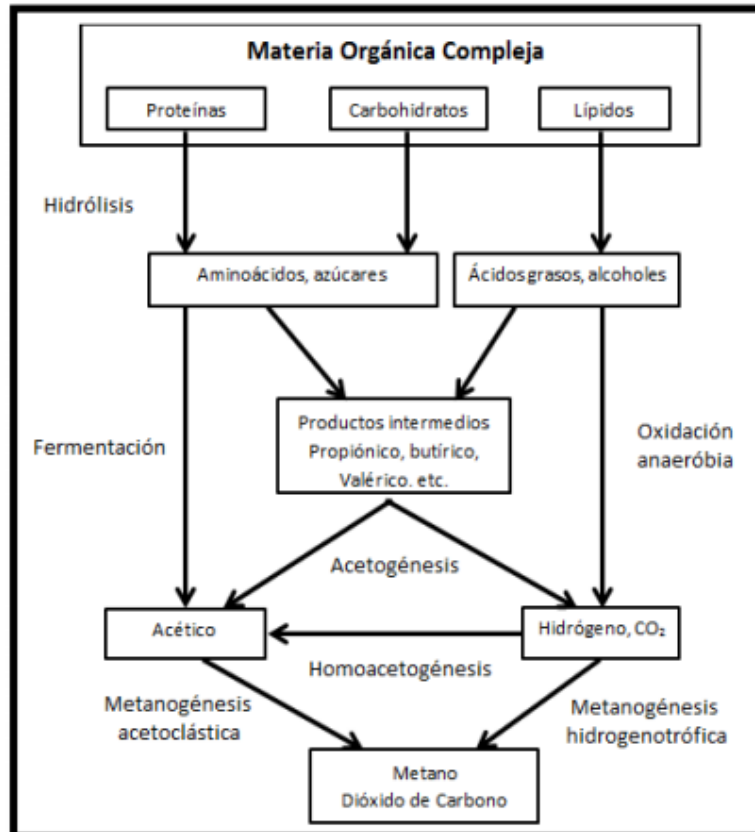
2.- Fermentación y Producción de Ácidos. Los compuestos disueltos, generados en la etapa anterior son absorbidos por las células de las bacterias fermentativas y después por las acidogénicas, excretadas como sustancias orgánicas simples como ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácidos lácticos y compuestos minerales. Las moléculas orgánicas solubles son fermentadas por varios organismos fermentativos creando compuestos que pueden utilizar las bacterias metanogénicas. Las proporciones entre los productos de la fermentación varían en función del consumo de H<sub>2</sub> por parte de las bacterias que utilizan hidrógeno.

3.- Etapa Acetogénicas. Esta etapa depende del estado de oxidación del material orgánico a ser digerido, y la formación de ácido acético puede ser acompañada por el surgimiento de CO<sub>2</sub> o H<sub>2</sub>. Algunas bacterias fermentativas y acetogénicas dependen de la concentración de H<sub>2</sub>, siendo posibles solo a valores muy bajos de presión parcial. La eliminación continua de H<sub>2</sub> mediante oxidación de CO<sub>2</sub> estimula la acción de las bacterias fermentativas.

4.- Fase Metanogénica. En esta etapa se produce metano (CH<sub>4</sub>) y otros productos finales gracias a la acción de bacterias metanogénicas que son anaerobias y que

poseen tasas de crecimiento inferiores a las bacterias hidrolíticas y acidogénicas. Las bacterias metanogénicas utilizan ácido acético, metanol o dióxido de carbono e hidrógeno para producir gas metano, pero el ácido acético es el substrato más importante, responsable de la producción de aproximadamente el 70% de este gas (instituto de investigaciones eléctricas 2001). En la Figura 2, se presenta el esquema de digestión anaerobia.

Figura 2. Esquema de Reacciones.



Fuente: Página Web: <http://www.3tres3.com/medioambiente/digestión-Anaerobia>.

## Efluente:

Su uso ha sido probado en varios países y en diferentes cultivos, mostrando incrementos en las cosechas y mejoramientos en las propiedades del suelo, a diferencia de los fertilizantes químicos que reducen la productividad de la tierra. También se utiliza para la acuicultura y se investiga en la alimentación de cerdos como suplemento. Dependiendo de la cantidad de materiales no digeribles de la materia prima, se metaboliza hasta un 60% de la materia orgánica colocada en el digestor. El efluente es estable biológicamente, por el hecho de que no presenta malos olores ni atracción de moscas. La mayor parte de la materia orgánica que queda sin digerir se transforma lentamente por acción de las bacterias aerobias del suelo o del agua y así no constituyen alimento para insectos u otras plagas dañinas para la agricultura. El nitrógeno, el fósforo, y el potasio son considerados los nutrientes más importantes dentro de un programa de fertilización. La cantidad de nutrientes en un efluente dado es el resultado de la variación y el comportamiento de factores tales como:

- La especie animal que provee la materia prima
- La clase y cantidad de la alimentación de los animales
- El efecto del tiempo sobre el grado de maduración de la materia prima (excretas animales o desechos vegetales).

En la Tabla 4 se expresa la concentración de nutrientes encontrados en efluentes de Biodigestores con distintos tipos de excretas (Fundación PESENCA, 1992).

**Tabla 4.** Contenido porcentual de elementos Nutritivos en efluente (Base seca)

TIPO DE EXCRETAS	N Total	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Óxido de Fósforo)	K <sub>2</sub> O (Óxido de Potasio)	CaO (Óxido de Calcio)	MgO (Óxido de Magnesio)
Vacuna	2.3-4.7	0.9-2.1	4.2-7.6	1.0-4.2	0.6-1.1
Porcina	4.1-8.4	2.6-6.9	1.6-5.1	2.5-5.7	0.8-1.1
Avícola	4.3-9.5	2.8-8.1	2.1-5.3	7.3-13.2	1.1-1.6

Fuente: Sanchstands Berich Zufragen, citado por Pesenca, Pág. 40.

## Factores de los que depende la producción de biogás

- Temperatura
- Tiempo de retención
- Porcentaje de sólidos
- Factor pH

## Operación del Biodigestor

### 1. Rangos de temperatura para la operación del Biodigestor:

La tasa de fermentación anaerobia de los sólidos orgánicos y su conversión parcial en biogás, están directamente relacionadas con la temperatura interna de operación. Aunque el proceso se lleva a cabo en un amplio rango de temperaturas, desde 15°C hasta 60°C, la mayor eficiencia de conversión se obtiene en los rangos de temperatura 30°C a 40°C y 55°C a 60°C.

La mayoría de las bacterias metanogénicas digieren la materia orgánica más eficientemente en el rango 30°C a 40°C, que puede ser alcanzado por la fase líquida, no solo por efecto de la temperatura ambiental, sino también porque la temperatura interna se incrementa debido a la generación de calor ocurrida durante la fermentación de la materia orgánica.

- Zona psicrófila: por debajo de 20°C
- Zona mesófila: entre 20°C y 40°C
- Zona termófila: por encima de los 40°C

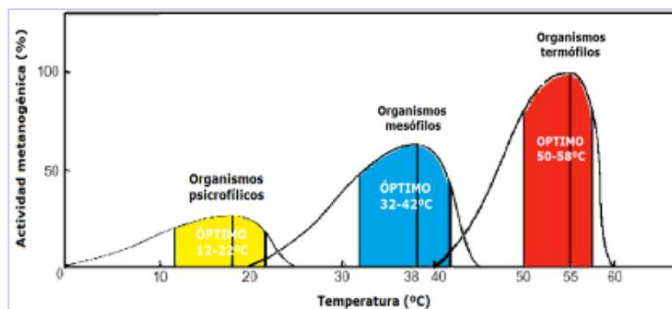


Figura 4. Rango de temperaturas de la digestión anaerobia. Fuente: Orbelith Murillo

### 2. Relación Carbono Hidrógeno

Los carbohidratos y las proteínas son los nutrientes indispensables para el crecimiento, desarrollo y actividad de las bacterias anaerobias. El carbono contenido en el estiércol es el elemento que las bacterias convierten en metano (CH<sub>4</sub>). El nitrógeno es utilizado para la multiplicación bacteriana y como catalizador en el proceso de producción de biogás.

El contenido de carbono en el estiércol del bovino es excesivo. De allí, la posibilidad y ventaja de alimentar al Biodigestor con las excretas de especies animales.

### 3. Valores de pH

Aunque el rango de pH óptimo, para alcanzar la mayor eficiencia en la fermentación anaerobia de la materia orgánica, puede variar, el proceso de digestión bacteriana produce biogás a valores de pH entre 6.7 y 7.5, un medio prácticamente neutro (Griffis, Mote y Kienholz, 1980). El pH se mantiene en ese rango, solo si, el Biodigestor está operando correctamente. Si el pH se torna muy ácido, la acción de

las bacterias se inhibe, aumentando la proporción de gas carbónico en el biogás (Taiganides, 1963). Las causas por las que se puede acidificar la fase líquida contenida dentro del Biodigestor son:

- ❖ Un cambio excesivo de la carga.
- ❖ El permanecer por largo tiempo sin recibir carga.
- ❖ La presencia de productos tóxicos en la carga.
- ❖ Un cambio amplio y repentino de la temperatura interna

**La producción del Biogás tiene grandes beneficios tanto a los usuarios, a la sociedad como al ambiente (Manilla Pérez, Efraín, 2000).**

Aquí mencionamos los beneficios más significativos:

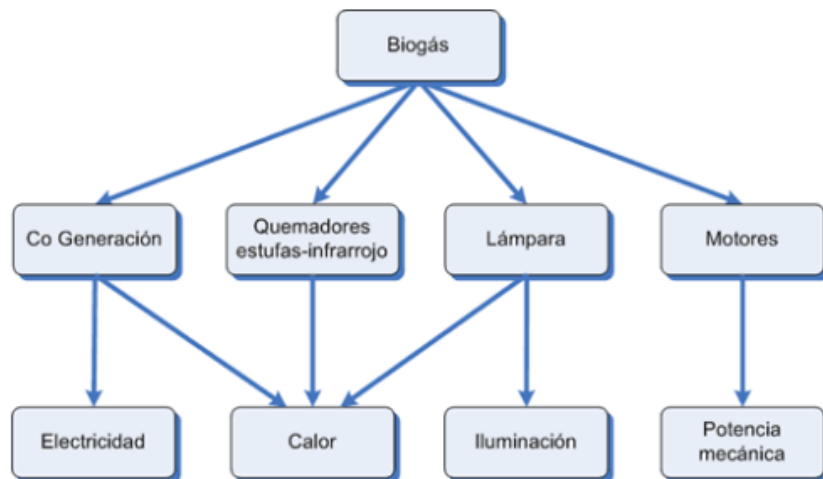
- a) Producción de energía: calor, luz, electricidad.
- b) Transforma los desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad.
- c) Mejora las condiciones higiénicas por la reducción de patógenos, huevos de moscas, etc.
- d) Reduce la cantidad de trabajo con respecto a la recolección de leña.
- e) Favorece la protección del suelo, agua, aire y vegetación, obteniendo menor deforestación.
- f) Beneficios micro-económicos a causa de la sustitución de energía y fertilizantes, del aumento de los ingresos y aumento de la producción agrícola-ganadera.
- g) Beneficios macro-económicos, a través de la generación descentralizada de energía, reducción de los costos de importación y protección ambiental.

## Uso del biogás:

La gran variedad de biomásas existentes unida al desarrollo de distintas tecnologías de transformación de ésta en energía (Combustión directa, Pirólisis, Gasificación, Fermentación, Digestión anaeróbica,) permiten plantear una gran cantidad de posibles aplicaciones entre las que destacan la producción de energía térmica, electricidad (López Villanueva Berenice, 2001).

El biogás también puede ser usado para alumbrado, para motores de combustión, etc. Para que nos hagamos una idea, una familia media de 4 miembros, requiere para 5 horas de cocina diarias, 1m<sup>3</sup> de biogás, que totalmente quemado es suficiente para:

- Generar 1.25kWh de electricidad.
- Generar 6 horas de luz equivalente a una bombilla de 60W.
- Poner a funcionar un refrigerador de 1m<sup>3</sup> de capacidad durante una hora.
- Hacer funcionar una incubadora de 1m<sup>3</sup> de capacidad durante 30 minutos.
- Hacer funcionar un motor de 1HP durante 2 horas.



Fuente: [www.energianatural.com.ar](http://www.energianatural.com.ar)

Se puede utilizar el biogás para varios fines (Guevara v. a., 1996):

- ❖ Calefacción domiciliar e industrial
- ❖ Generación de electricidad
- ❖ Purificación a gas natural (renovable)
- ❖ Uso en vehículos
- ❖ En Suecia se usa hasta para trenes
- ❖ El lodo se puede usar como fertilizante



## Aplicación en el área rural:

La aplicación del biogás en el área rural ha sido muy importante, en este caso la tecnología desarrollada ha buscado realizar digestores de fácil uso, mínimo costo y mantenimiento, aunque sus rendimientos son bajos, sus objetivos son dar energía, sanidad y fertilizantes orgánicos a los agricultores especialmente de zonas marginales y difícil acceso a las fuentes convencionales de energía.

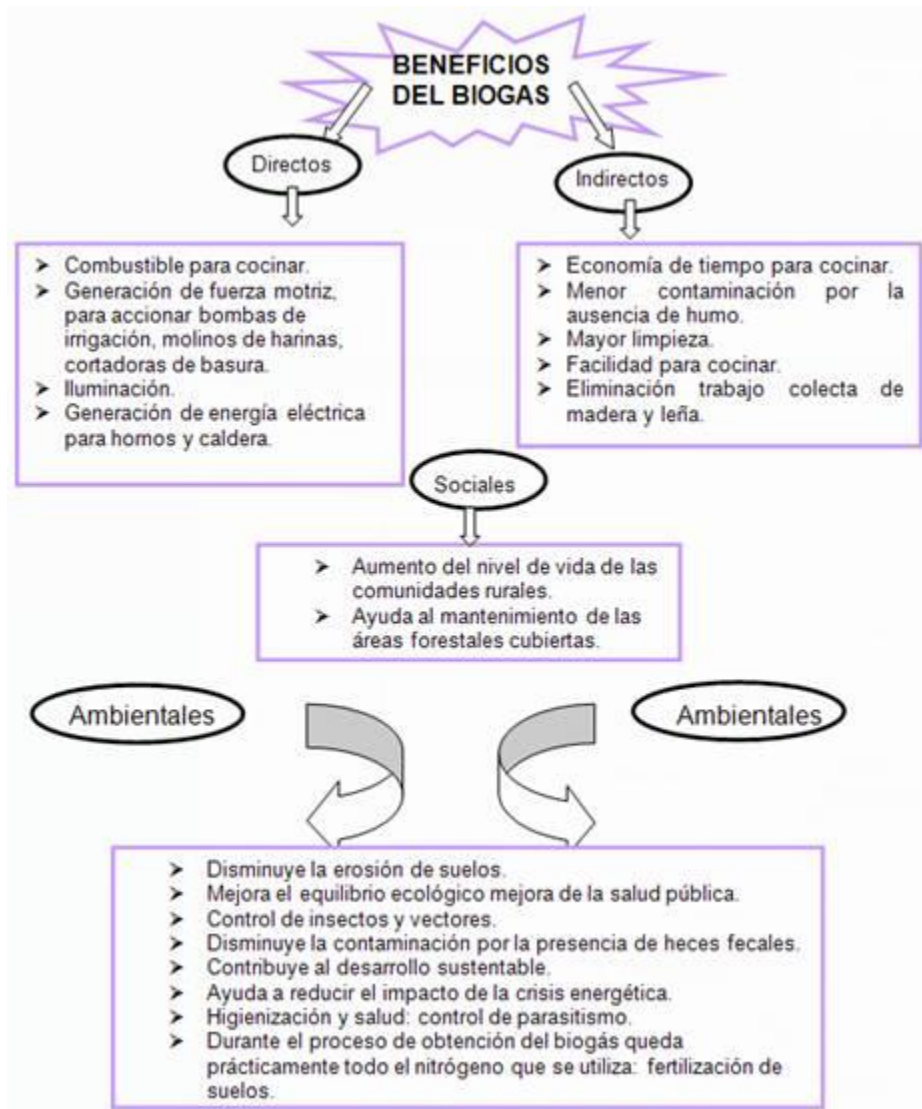


Figura 5. Beneficio del Biogás.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos68/usos-pulpa-cafe/usos-pulpa-cafe2.shtml>



## Determinación de la ley cinética (Danay Carillo-Nieves, 2013)

En un sistema de volumen constante la expresión cinética para el consumo del reaccionante A puede expresarse como:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^n \quad (1)$$

Donde:

–  $r_A$ : Velocidad de reacción del proceso

$C_A$ : Concentración del reactivo A

k: Constante cinética

n: Orden de la reacción

t: Tiempo

Para obtener la ecuación cinética del proceso se debe suponer primeramente su orden (n), debido a que para cada uno de ellos existe una expresión integrada diferente. Para procesos biológicos es usual que se obtenga una cinética de pseudo primer orden (n=1) [26].

Para el caso de un sistema de orden 1 en el que no varíe su volumen, puede plantearse la ley cinética en función de la cantidad de sustancia ( $n_i$ ):

$$-\frac{dn_A}{dt} = kn_A \quad (2)$$

En casos en los que se hace difícil monitorear la concentración de los reaccionantes se puede ajustar la ecuación cinética en función de la concentración de los productos. Para el caso de una reacción de orden 1 la cantidad de sustancia del reaccionante A en el tiempo ( $n_A(t)$ ) sería:

$$n_{A(t)} = n_{A0} e^{-kt} \quad (3)$$

Siendo  $n_{A0}$  la cantidad de sustancia inicial del reaccionante A. Mientras, la de un producto B de esa misma reacción puede escribirse como:

$$n_{B(t)} = n_{Bf} (1 - e^{-kt}) \quad (4)$$

Donde  $n_{Bf}$  es la cantidad de sustancia máxima de B producida en caso de reacción completa del reaccionante A.

## 10.-METODOLOGÍA:

---

### **Metodología para caracterizar el biogás:**

En los reactores anaerobios, los materiales disueltos en excremento mezclado con agua son transformados bioquímicamente por los consorcios microbianos en gases y en biomasa, pero principalmente en biogás. Cuando proliferan bacterias sulfato-reductoras (BSR) producen ácido sulfhídrico como producto de la degradación del sustrato y entran en competencia por el sustrato carbonoso con las bacterias metanogénicas (BM) (Choi y Rim, 1991; Clancy y Col.,1992; Lalit y Col.,1997). La producción de metano disminuye, representando esto una desventaja importante en la aplicación de un tratamiento anaerobio. Además de esto, al producirse ácido sulfhídrico en el sistema surgen problemas como la corrosión en las tuberías, en motores, en los calentadores del sistema, mal olor e inhibición de varios tipos de bacterias anaerobias incluyendo las BM acetogénicas y las propias BSR, afectando la eficiencia del proceso, lo cual puede llevar a una falla total del mismo.

La medición de la actividad metanogénica y sulfato-reductora es un punto clave para hacer un correcto seguimiento de la operación de estos reactores. Una forma sencilla de llevar a cabo este seguimiento es mediante la medición de los gases generados y, específicamente de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S Y N<sub>2</sub>, específicamente si se emplea un cromatógrafo de gases de bajo costo.

Por ello, en esta investigación se presenta la aplicación del proceso de separación, pero a escala "micro" en un cromatógrafo de gases, para determinar la cantidad de gases que se generan en el reactor anaerobio a escala de laboratorio que operan a diferentes temperaturas.

Para la medición de los gases generados en los reactores se emplea el siguiente método:

### **Método de almacenamiento del biogás para la medición de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> Y N<sub>2</sub> (ALEJANDRA CASTRO-GONZALEZ, CARMEN DURAN-DE-BAZÚA.).**

Los gases son extraídos directamente del reactor para la medición de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> Y N<sub>2</sub>, por medio de una jeringa con cambios de atmósferas. Para cada muestra se hace lo siguiente:

1. Preparar viales de 20ml con espacio de cabeza de 20 mm y cierres herméticos de aluminio con septos previamente montados previamente lavados con HCL diluido.
2. Preparar una solución de NaCl saturada.
3. Preparar una solución de HCl 1:1.
4. Mezclar la solución 1 con la 2 en una proporción de 1:10
5. Adicionar una gota de indicador rojo de metilo.

6. Mezclar perfectamente y llenar los viales sin dejar ninguna burbuja dentro del vial.
7. Introducir el biogas colectado con la jeringa con boton de cambio de atmosfera al vial perforando la tapa de silikon con la misma jeringa, dejando que escape el liquido de preparacion hacia el exterior por otro orificio que se le hace al tapon del vial con una aguja.
8. Introducir un volumen de un 50% de biogas con respecto al vial y esperar a que se equilibren la presion interna del vial con respecto a la externa, la del ambiente.
9. Guardar el vial verticalmente, dejando que la preparacion permanezca en la parte inferior del vial.  
Esto funciona comom un sello para no dejar escapar los gases en un promedio de 30 dias.

### **Tipo de cromatógrafo de gases en donde se puede utilizar el método de muestreo.**

La cromatografía de gases es una técnica cromatográfica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

Existen dos tipos de cromatografía de gases (GC): la cromatografía gas-sólido (GSC) y la cromatografía gas-líquido (GLC), siendo esta última la que se utiliza más ampliamente, y que se puede llamar simplemente cromatografía de gases (GC). En la GSC la fase estacionaria es sólida y la retención de los analitos en ella se produce mediante el proceso de adsorción. Precisamente este proceso de adsorción, que no es lineal, es el que ha provocado que este tipo de cromatografía tenga aplicación limitada, ya que la retención del analito sobre la superficie es semipermanente y se obtienen picos de elución con colas. Su única aplicación es la separación de especies gaseosas de bajo peso molecular. La GLC utiliza como fase estacionaria moléculas de líquido inmovilizadas sobre la superficie de un sólido inerte.

La GC se lleva a cabo en un cromatógrafo de gases. Éste consta de diversos componentes como el gas portador, el sistema de inyección de muestra, la columna (generalmente dentro de un horno), y el detector (Skoog, Douglas A. y Leary, James J. 1994).

## **Metodología para la construcción del prototipo de biodigestor.**

se realizó un prototipo del biodigestor a escala de laboratorio para poder llevar a cabo la evaluación de la cinética de producción de biogás en San Cristóbal de las casas, Chiapas, tomando en cuenta el diseño del biodigestor original, en donde utilizaremos materiales que se tengan al alcance y también sean reciclables.

Con ayuda del prototipo del biodigestor se llevó a cabo la toma de muestras de presión del biogás al inicio y hasta el final para poder elaborar un grafica en donde muestre la producción del biogás con el respectivo tiempo y así poder obtener una cinética de reacción.

Los materiales que se utilizaron para el diseño del biodigestor se mencionan en la siguiente tabla:

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>2</b>	<b>Bolsa Nilón de calibre 300, largo de 1.30 m y de ancho 0.60 m</b>
<b>1</b>	<b>Tubo de pvc de 3 pulgadas de diámetro y de largo 1.50 m</b>
<b>2</b>	<b>Codos de pvc de 45° y de 3 pulgas de diámetro</b>
<b>1</b>	<b>Parche para llanta de bicicleta</b>
<b>1</b>	<b>Cámara de llanta de moto</b>
<b>1</b>	<b>Conexión de hembra-macho de ½ pulgada de plástico</b>
<b>1</b>	<b>Conexión de macho para manguera de ½ pulgada de diámetro</b>
<b>1</b>	<b>Pegamento para pvc</b>
<b>1</b>	<b>Manguera de ½ pulgada de diámetro</b>

### **Pasos para elaborar el prototipo de biodigestor (para mayor visualización favor de ver anexo 1):**

1. Se toma la bolsa de nilón negra calibre 300, se abre y dentro de ella se introduce otra bolsa, para así tener una solo bolsa más resistente, gruesa y sin fugas.
2. Se cortar dos tramos de pvc de 3 pulgadas de 10cm cada uno, después se pegan los tramos en dos codos de 45° grados.
3. Se hace la salida del biogás en la bolsa dejando el orificio enmedio de la bolsa, después se cortan dos parches del mismo diámetro de la conexión hembra-macho, ya teniendo los parches se pega uno adentro de la bolsa en donde está el orificio y el otro afuera del orificio. Por último, se figa la conexión

hembra-macho en el orificio que se hizo en medio y se le añade pegamento alrededor para evitar fugas y se deja secar en el sol.

4. Se amarra la bolsa con las tiras de cámara de llanta de moto de tal manera que cubra el tubo de pvc que está pegado con cada codo de 45° grados y por último hacerle las pruebas de fuga con ayuda de una aspiradora.

Para el funcionamiento correcto del biodigestor y para proteger los equipos metálicos que se alimentaran del biogás se diseñó un filtro cuya función es eliminar el ácido sulfhídrico del biogás.

A continuación, se presentan los siguientes materiales a utilizar para elaborar el filtro:

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>
1	Tubo de pvc de 1 pulgada de diámetro
2	Tapas de pvc de 1 pulgada de diámetro
2	Tee liso pvc cedula 40 1 pulgada de diámetro
2	Conexiones hembra-macho de 1/2 de diámetro
1	Llave de paso de bola con conexiones en la entrada y salida
1	Conexión macho para manguera de 1/2 pulgada
1	Conexión hembra para manguera de 1/2 pulgada
1	Conexión en t para manguera de 1/2 pulgada
1	Limadura de hierro (llaves o fibra)
1	Cámara de moto
1	1/2 metro de manguera para pecera
1	Manómetro de mano.

**Pasos para la elaboración del filtro (para mayor visualización favor de ver anexo 2):**

1. Se corta tramo de 20cm del tubo de pvc de una pulgada de diámetro.
2. Se toman las tapas de pvc, se les dibuja un círculo del diámetro de las conexiones hembra-macho y se perforan los círculos y se fijan con pegamento de pvc las conexiones en cada tapa.
3. Se cortan dos círculos de la cámara de moto con el mismo diámetro de las conexiones hembra-macho y se figan en las conexiones con pegamento de pvc y se deja secar para que no haya fugas.

4. Se utilizan las conexiones T de cedula 40 de pvc, una vez bien fijadas las tapas de pvc con las conexiones de hembra-macho se pegan con las conexiones T de cedula 40 de pvc, una vez ya fijados lo tee de cedula 40 se pega un extremo del tubo de pvc de 20 cm y el otro se deja puesto a presión para que se pueda destapar y así poder cambiar a cierto tiempo la limadura de hierro.
5. Se añade la limadura de hierro tapando todo el tubo de pvc.
6. Se enrosca la llave de paso al extremo de pvc fijo, a la llave de paso se le enrosca la conexión hembra y en el otro extremo en donde no está fijo el pvc con la conexión T se enrosca la conexión macho.
7. Se elabora el respiradero del biodigestor con ayuda de una botella de plástico en donde la parte de arriba de la botella se fijará la conexión en T y una parte de enmedio se le harán orificios para que libere el gas cuando este demasiado lleno.
8. Por último, se añade manguera de pecera para instalar el manómetro de mano para poder medir la presión del biodigestor.

**Metodología alterna para la elaboración de una incubadora para tener la temperatura constante y poder llevar acabo la máxima producción de gas por las inclemencias del tiempo en San Cristóbal de las Casas, Chiapas.**

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIAL</b>
<b>2</b>	<b>Cajas de cartón de huevos.</b>
<b>1</b>	<b>Cúter</b>
<b>1</b>	<b>Cinta canela</b>
<b>2</b>	<b>Focos de 30 watts</b>
<b>1</b>	<b>Foco de 60 watts</b>
<b>1</b>	<b>4 metros de cable calibre 6 capacidad de 80-90 AMPS</b>
<b>3</b>	<b>Socket para foco sencillo</b>
<b>1</b>	<b>Enchufe, interruptor o clavija</b>

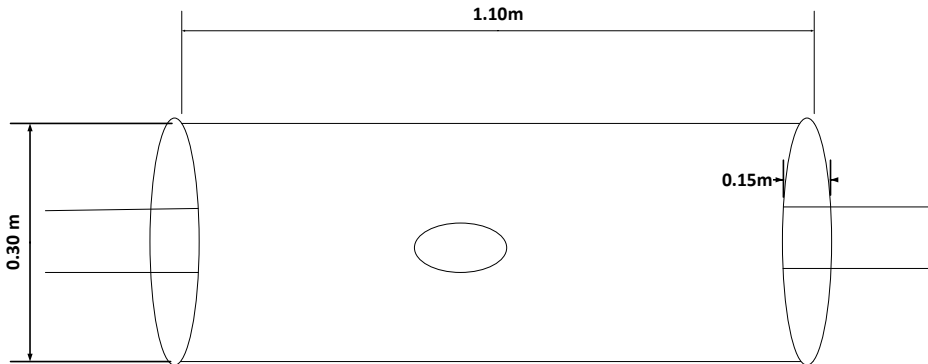
Pasos para realizar la incubadora casera para mantener una temperatura constante de 29°C (ver anexo 3):

1. Se toma las cajas de cartón, se cortan a la medida del biodigestor y se le hacen los hoyos correspondientes para la salida de los tubos de pvc del biodigestor, para que la caja tape completamente el biodigestor.
2. Se hace la instalación de los sockets y se colocan un foco en la orilla, uno en el centro y el otro en siguiente orilla de la caja, tomando una distancia del foco de enmedio de 20cm.
3. Como tercer paso se añade la clavija para la corriente y se colocan los focos en sus respectivos sockets.

## 11.-CALCULOS DE VOLUMEN, ALIMENTACION Y TIEMPO DE RETENCION DEL BIODIGESTOR.

---

Las dimensiones del biodigestor son:



Para obtener el volumen del biodigestor se hizo el siguiente calculo:

$$V_{\text{total}} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{altura}$$

$$V_{\text{total}} = 1.10\text{m} * 0.30\text{m} * 0.30\text{m}$$

$$V_{\text{total}} = 0.099\text{m}^3$$

Se convierte el resultado en  $\text{m}^3$  a l para obtener el volumen total en litros:

$$V_{\text{total}} = 0.099\text{m}^3 * 1000\text{L}$$

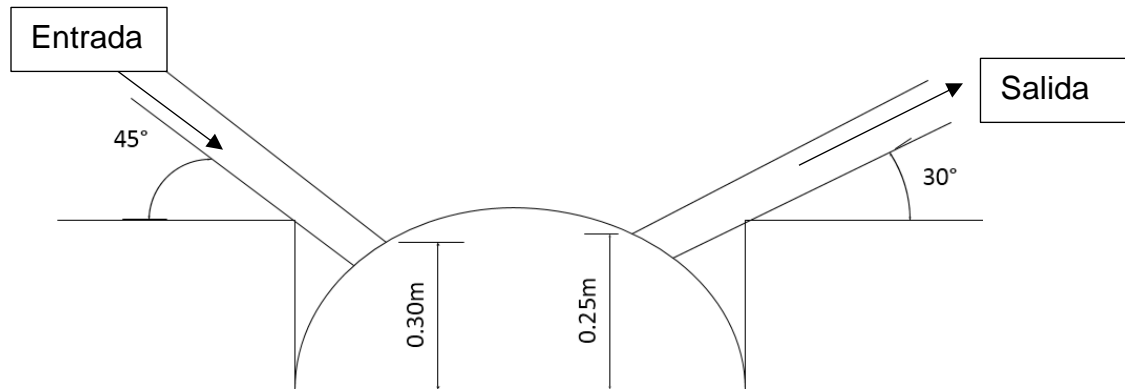
$$V_{\text{total}} = 99\text{L}$$

Ahora teniendo el volumen total de biodigestor se calcula la cantidad de agua que se necesita para alimentar el biodigestor y la cantidad de estiércol con la que se mezclará.



### Cálculo de la cantidad de agua necesaria para el biodigestor.

las dimensiones para calcular la cantidad de agua que se debe agregar al biodigestor son:



Tomamos la altura del tubo de alimentación porque es la mayor, con base a ello utiliza también el ancho del biodigestor que es de 0.15m y por último se utiliza el largo real de biodigestor que es de 1.10m.

$$V_{\text{agua}} = \text{Largo} \times \text{Ancho} \times \text{Altura}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.15\text{m} \times 0.15\text{m} \times 0.30\text{m}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.0495\text{m}^3$$

Se convierte el resultado en  $\text{m}^3$  a l para obtener el volumen total en litros:

$$V_{\text{agua}} = 0.0495\text{m}^3 \times 1000\text{L}$$

$$V_{\text{agua}} = \mathbf{49.50\text{L}}$$

### Cálculo de la cantidad necesaria de estiércol para mezclar con agua (OYALA, 2006).

#### ESTIÉRCOL

$$E = \text{NA} \times \text{PVP} \times \text{PE}/100$$

$$E = 2 \times 150 \times 0.05$$

$$E = \mathbf{15\text{kg}}$$

Dónde:

E = Estiércol en kilogramos, NA = Número de animales por una especie (vacas, cerdos, caballos, humanos, etc) PVP = Peso vivo promedio por animal PE = Producción de estiércol por animal por día en porcentaje de peso vivo.

Tablas para el cálculo de estiércol necesario para mezclar.

Tabla 10. Producción de materia fecal y orina como proporción de peso vivo

Estado	Cantidad de estiércol y orina (kg)/por cada 100 kg de peso vivo	Rango	Peso del animal(kg)	Estiércol en kg/cabeza/día
Hembra vacía	4.61	3.3 – 6.4	150	6.91
Hembra gestante	3.00	2.7 – 3.2	180	5.40
Hembra lactante	7.72	6.0 – 8.9	190	14.67
Macho reproductor	2.81	2.0 – 3.3	160	7.38
Lechón lactante	8.02	6.8 – 10.9	3.5	0.28
Precebos	7.64	6.6 – 10.6	16	1.22
Levante	6.26	5.9 – 6.6	35	2.19
Finalización	6.26	5.7 – 6.5	80	5.01

Fuente. López, 2003.

Tabla 6 - Valores y características del estiércol de algunos animales<sup>11</sup>

Clase de animal	% por peso vivo:		% del material de digestión		Relación C/N	P - Producción de biogas (m <sup>3</sup> de gas / 1 kg SO)
	PE - Estiércol	PO - Orina	% EST Sólidos	% SO Sólidos orgánicos		
Vacunos	5	4	15-16	13	20	0.250
Cerdos	2	3	16	12	13	0.350
Caprinos, ovejas	3	1.5	30	20	30	0.200
Caballos	5	4	25	15	20	0.250
Avícolas, gallinas	4.5	4.5	25	17	5-8	0.400
Humanos	1	2	20	15	8	0.300

(Difusión de la tecnología del biogás en Colombia, GTZ, 1987)

### Cálculo del tiempo de retención (OYALA, 2006).

El posible tamaño del digestor (volumen del digestor) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la carga diaria. Se recomienda escoger el TR apropiado de acuerdo con la temperatura promedio del sitio en el cual va a operar, utilizando la ecuación generada (Oyala,2006).

$TR = (-51.227 * \ln(T^{\circ}C) + 206.72)$  donde,

TR= Tiempo de retención en días

Ln= Logaritmo natural

T°C= Temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalará el biodigestor

En el caso de la presente investigación el biodigestor está instalado en san Cristóbal de las casas, Chiapas, se tomó como base una temperatura promedio del mes de abril y mayo que es de 26°C. Ya obtenida la temperatura promedio se realiza el siguiente calculo:

$$TR = (-51.227 * \ln(T^{\circ}C) + 206.72)$$

$$TR = (-51.227 * \ln(26^{\circ}C) + 206.72)$$

**TR= 39.81 días redondeando a 40 días**

**El biodigestor se alimentó el día 20 de abril del 2018 con la cantidad de agua de 49.5L mezclado con 17 kg de estiércol de vaca con un tiempo de retención de 40 días.**

## 12.-RESULTADOS

---

Una vez establecido el biodigestor, se alimentó el día 20 de abril del 2018, con 49.5Lts de agua y 17Kgs de estiércol. Se estuvo observando y tomando las notas pertinentes diariamente, durante 40 Días. Durante estos días las temperaturas oscilaron entre 15 Grados y 20 Grados, las cuales no ayudaron a la generación del biogás en el prototipo de biodigestor, en este espacio.

Ante lo anteriormente expuesto se tuvo que trasladar el prototipo a otro espacio y crearle las condiciones adecuadas para el correcto funcionamiento a fin de lograr los objetivos y metas fijadas para la presente investigación.

Se trasladó a un espacio de azotea en donde existe mayor temperatura. Para ello se le construyó una incubadora casera que se adaptó como última opción para mantener la temperatura constante y evitar fluctuaciones de las mismas por las inclemencias del clima.

El día 4 de junio del 2018 a las 12:23pm me percate que el biodigestor inflo completamente, ya que la presión del gas hizo que se fugara cierta cantidad de mezcla y se sintiera el olor fétido de la mezcla.

El biodigestor inflo gracias a tener la temperatura constante de 29°C con la incubadora casera antes descrita.

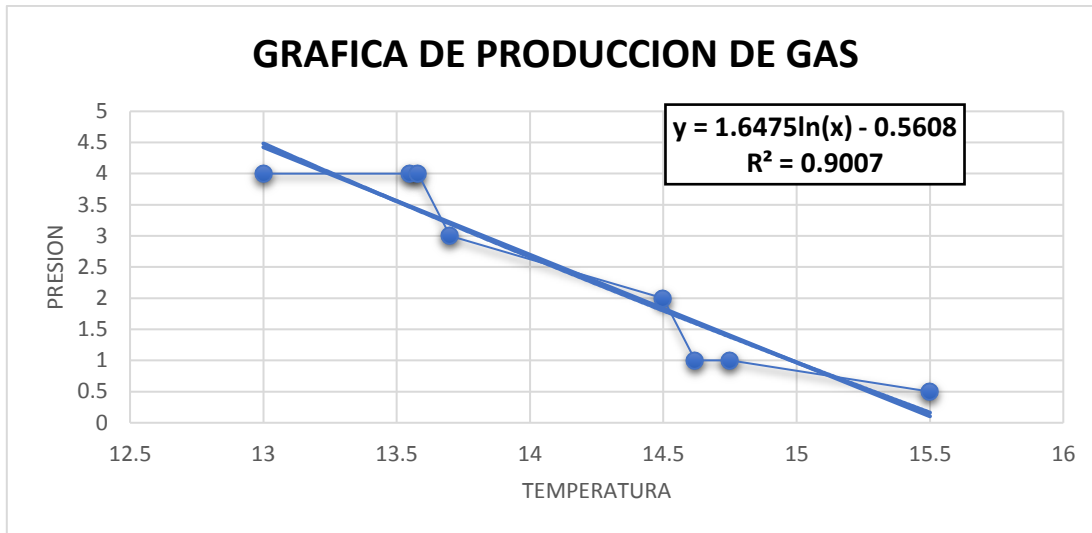
Con fecha 15 de mayo del 2018 se incubo el biodigestor, el día que inflo completamente fue el día 4 de junio 2018.

Las lecturas de presión que se obtuvieron no fueron precisas ya que la presión no llega fuerte hasta al manómetro, la presión máxima que se obtuvo fue de 4 mmhg, la mínima fue de 0.5mmhg al tercer día.

se tomó presiones cada tres horas durante tres días. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

DIAS	PRESION (MMHG)
13	4
13.55	4
13.58	4
13.7	3
14.5	2
14.62	1
14.75	1
15.5	0.5

Una vez obtenidas las presiones se elabora un grafica de P VS t, en donde se optó por insertarle una línea de tendencia la cual se ajuste mejor a la gráfica que se muestra a continuación.



Al insertar la línea de tendencia la que mejor se adaptó a la gráfica fue una logarítmica la cual generó una ecuación que nos ayudara a calcular la producción de biogás desde el primer día, la ecuación es la siguiente:

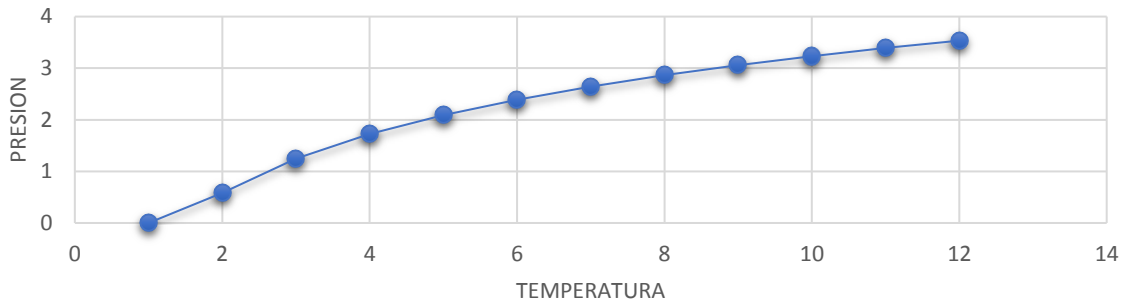
$$P = 1.6475\ln(t) - 0.5608$$

Con la ayuda de la ecuación se calculó los días iniciales cuando no se tenía lectura de presión, se presentan los resultados de los cálculos en la siguiente tabla:

DIAS	PRESION CALCULADA
1	0.00
2	0.58
3	1.25
4	1.72
5	2.09
6	2.39
7	2.65
8	2.87
9	3.06
10	3.23
11	3.39
12	3.53

Se presenta la gráfica con las presiones calculas.

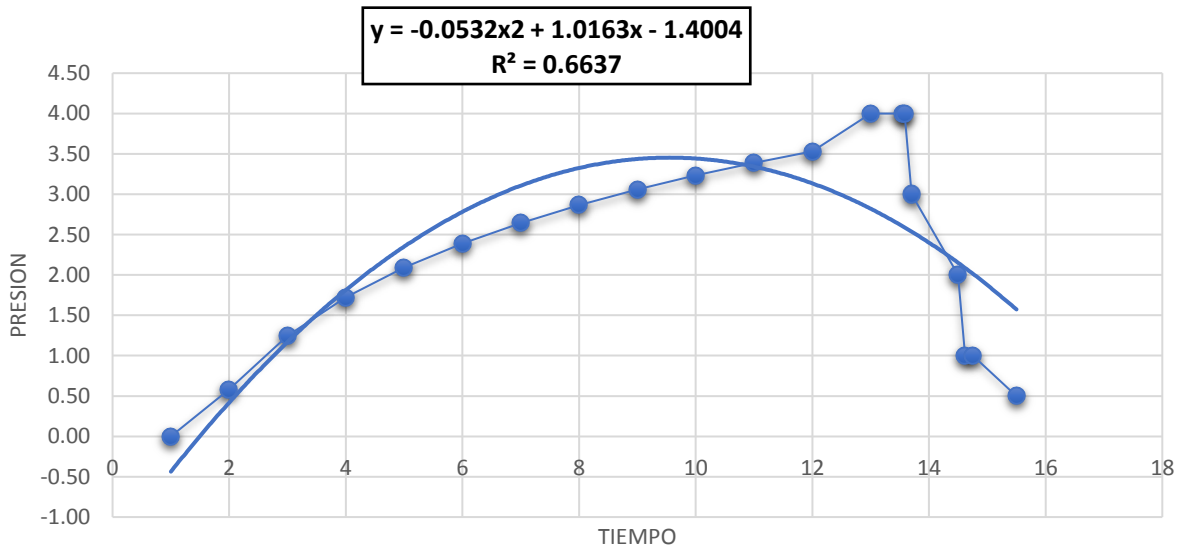
### GRAFICA DE PRODUCCION DE BIOGAS, CALCULADAS CON LA ECUACION OBTENIDA ANTERIOMENTE



Una vez obtenida las dos graficas se realiza una gráfica general en donde se representa la producción de gas completa, se le agrega una línea de tendencia nuevamente en donde se ajuste la gráfica y se obtiene una ecuación la cual será el modelo cinético de reacción de segundo orden del biodigestor.

Se presenta la gráfica general con la ecuación correspondiente:

### GRAFICA DE PRODUCCION COMPLETA DE BIOGAS



La línea de tendencia que más se ajusto es una polinómica de segundo orden la cual es la ecuación cinética general de la producción de gas que se muestra a continuación:

$$P = -0.0532t^2 + 1.0163t - 1.4004$$

La ecuación obtenida nos ayudó a evaluar la cinética de producción de biogás del prototipo de biodigestor.

Con base al modelo cinético de segundo orden obtenido experimentalmente, se propuso un modelo cinético teórico para comparar entre ellos la eficiencia del biogás.

El modelo cinético obtenido experimental es una ecuación de segundo orden, entonces se proponen dos modelos para verificar cuál de los dos se ajusta más al modelo experimental: el primer modelo es de orden uno y el segundo modelo es de orden dos para verificar el comportamiento de la gráfica obtenida en la producción de biogás (ver grafica experimental).

El modelo cinético propuesto es el siguiente:

$$\frac{-dP}{dt} = KRT(3P_0 - P)^2$$

Para poder integrar la función, se separan términos y se obtiene lo siguiente:

$$\int_{P_0}^P \frac{-dP}{(3P_0 - P)^2} = K_x \int_{P_0}^P dt$$

Modelo cinético de orden 1:

$$\int_{P_0}^P \frac{-dP}{(3P_0 - P)^1} = K_x \int_{P_0}^P dt$$

Dónde:

Donde:

P = presión total

P<sub>0</sub> = presión inicial

K = constante de velocidad

t = tiempo

Integrando tenemos:

$$\ln \frac{2P_0}{3P_0 - P} = K_x t$$

Utilizando los datos experimentales los valores que se conocen son: Presión inicial ( $P_0$ ), presión total (P)y tiempo (t), entonces al graficar estos valores conoceremos la constante de velocidad de reacción (K).

Datos:

$P = 762.81\text{mmhg} + \text{la presión experimental}$

$P_0 = 762.81\text{mmhg}$

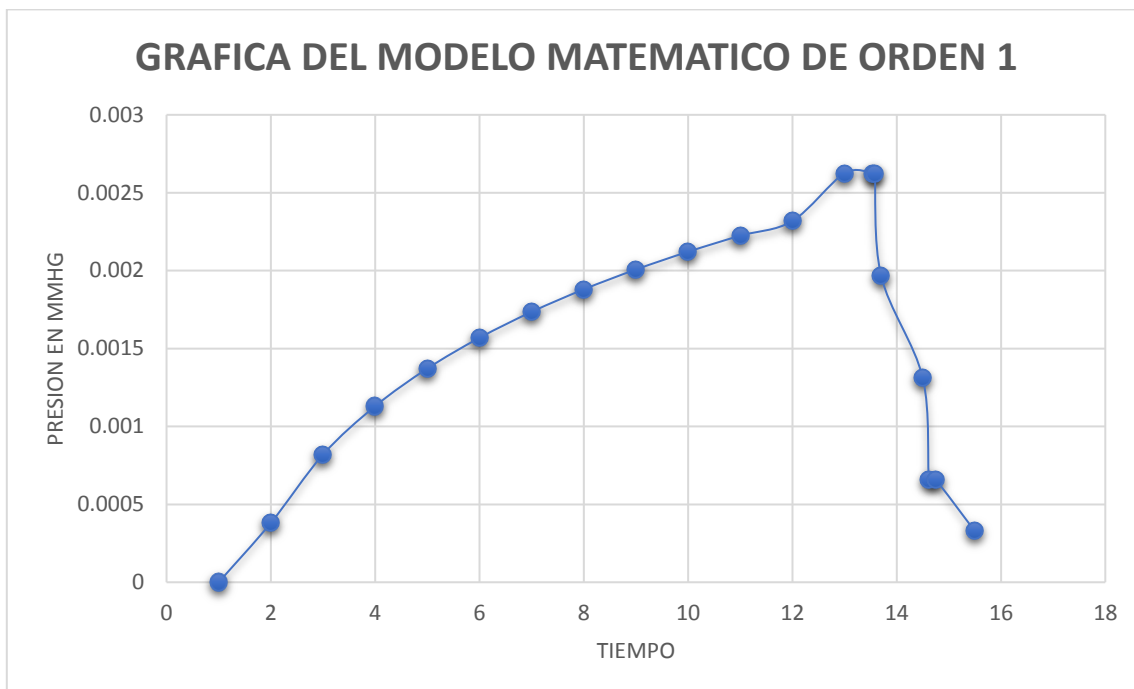
$K = ?$

t = tiempo experimental del día inicial al día quince.

Tabla de resultados y gráfica:

<b>PRESIÓN CALCULADA (MODELO DE ORDEN 1)</b>	<b>DIAS</b>
<b>0</b>	<b>1</b>
<b>0.000381006</b>	<b>2</b>
<b>0.000819126</b>	<b>3</b>
<b>0.001130094</b>	<b>4</b>
<b>0.001371366</b>	<b>5</b>
<b>0.001568542</b>	<b>6</b>
<b>0.001735283</b>	<b>7</b>
<b>0.001879743</b>	<b>8</b>
<b>0.002007183</b>	<b>9</b>
<b>0.002121196</b>	<b>10</b>
<b>0.002224344</b>	<b>11</b>
<b>0.00231852</b>	<b>12</b>
<b>0.002625328</b>	<b>13</b>
<b>0.002625328</b>	<b>13.55</b>
<b>0.002625328</b>	<b>13.58</b>
<b>0.00196835</b>	<b>13.7</b>
<b>0.001311802</b>	<b>14.5</b>
<b>0.000655686</b>	<b>14.62</b>
<b>0.000655686</b>	<b>14.75</b>
<b>0.000327789</b>	<b>15.5</b>





Se puede observar que la gráfica se comporta de la misma manera que la experimental, entonces se puede deducir que este modelo cinético de orden uno es ideal para el prototipo de biodigestor. No fue necesario realizar el modelo matemático de orden 2 por que el del orden uno se adaptó al modelo experimental.

La grafica representa la constante de velocidad de reacción del modelo matemático de orden 1.

El biodigestor desarrollado en este proyecto ha sido pensado para la obtención de biogás con el fin de poder cocinar alimentos.

Hay una variedad de usos que se le pueden dar al biogás que se mencionan a continuación:

### **Producción de calor o vapor**

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionarla energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación (Varnero Moreno María, 2011).

Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas. El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. Se necesita alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H<sub>2</sub>S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C (Varnero Moreno María, 2011).

## **Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad**

Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H<sub>2</sub>S (bajo 100 ppm) y vapor de agua (Varnero Moreno María, 2011).

Las celdas de combustible se consideran las plantas de energía a pequeña escala del futuro para la producción de electricidad y calor con una eficiencia superior al 60% y bajas emisiones.

## **Combustible para vehículos**

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La mayoría de vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible (Varnero Moreno María, 2011).

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido (Varnero Moreno María, 2011).

Sin embargo, su difusión está limitada por una serie de problemas:

- A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.
- La conversión de los motores es costosa (instalación similar a la del gas natural) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.
- Por último la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso.

### 13.- CONCLUSIONES

---

El funcionamiento y construcción del prototipo fue exitoso al conseguir los objetivos propuestos, sin embargo, estos no se obtuvieron de manera rápida ni con la eficiencia que se esperaba ya que se tuvieron dificultades en la elaboración del biodigestor, aparte de que el proceso de descomposición de la materia orgánica fue lento y laborioso en los que influyen factores como temperatura, humedad, clima y condiciones propias del mismo biodigestor. Por ello fue necesario la incubación para acelerar la fermentación y así poder obtener el biogás a menos tiempo.

Aún con estos inconvenientes fue posible la generación de biogás a partir de desechos orgánicos, que sirvió para demostrar que se puede evaluar la cinética de producción de biogás y así mismo poder obtener la ecuación cinética de reacción para poder calcular la presión, como también que es posible poder sustituir el gas LP.

Concluimos que con ayuda de los datos experimentales se logró evaluar la eficiencia del prototipo de biodigestor, obteniendo como resultado una ecuación cinética de segundo orden con el cual se llevó a cabo una comparación de un modelo matemático propuesto el cual es de primer orden, obteniendo como resultado una similitud en las gráficas, es decir que el modelo matemático de primer orden se ajusta con el modelo matemático experimental.

El uso del biogás puede ser diverso, pero principalmente aplicarse a casas de comunidades rurales en donde por factores socioeconómicos no se tienen acceso al tanque de gas convencional.

Destacamos que es posible llevar a cabo la elaboración del prototipo de biodigestor con cualquier material ya sean materiales que ya no se utilicen y sean totalmente reciclables para sustentar el cuidado del medio ambiente y cuidar el factor económico.

## 14.- RECOMENDACIONES

---

- Ser perseverante en el proceso de fermentación ya que el tiempo de retención no es preciso y varia. Para un mejor funcionamiento del biodigestor es recomendable estarlo checando y tomar nota a diario.
- Revisar bien que no haya fugas de agua y de gas, es necesario que hagan pruebas de fuga antes de alimentarlo.
- Verificar todas las conexiones de manguera que estén bien fijadas y que no haya fuga ya sea con cinchos o rondanas a presión.
- A la hora de introducir la mezcla se percaten que se disuelvan los trozos de excretas de ganado para que a la hora de introducir la mezcla no se tapen los tubos de pvc.
- Es necesario que también tomen en cuenta las inclemencias del clima ya que varían con respecto a la estación en la que se establezca el biodigestor.
- Tomar en cuenta también el lugar en donde haga la fosa para establecer el biodigestor ya que varía si el lugar es relleno o tierra firme, con el relleno no se llevará a cabo la producción de biogás porque es muy fría la tierra y no guarda calor en cambio con la tierra firme absorbe el calor y mantienen a una temperatura constante en el biodigestor.
- Es recomendable que opten por llevar acabo la incubación ya que acelera el proceso de fermentación porque favorece a mantener una temperatura elevada y constante.

## 15.-ANEXOS

---

### ANEXO 1



### PRUEBAS DE FUGA





## MONTADO DE EQUIPO



## ALIMENTACION DEL EQUIPO



**ANEXO 2**









**ANEXO 3**







## ANEXO DE EVIDENCIA DEL PROYECTO

### MUESTRA DEL EQUIPO MONTADO



## EXTRACCIÓN DE MUESTRA





## ALIMENTACIÓN



BIODIGESTOR INFLADO Y TOMA DE PRESIÓN







## 16.-BIBLIOGRAFÍA

---

- ACEVEDO, P.;** (2006). Biodigestor de doble propósito – producción e investigación – para residuos de granja porcícola. Revista ION, 19 (1), 1-6, diciembre.
- AGUILAR, F.X.; BOTERO, R.;** (2006). Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. Tierra Tropical, 2 (1), 15-25.
- ALCAYAGA, S.; GLARÍA, J.; GUERRERO, L.;** (1999). Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, marzo. 11p. Disponible en Internet: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/ALCAYAGA1c.pdf> [Consultada Enero 2009]
- ÁLVAREZ, J.M.; CANETA, L.; MOYANO, C.;** (sf). Biomasa y biogás. Trabajo de Curso (Máquinas Térmicas II). Universidad Nacional del Nordeste. 15p. Disponible en Internet: <http://ing.unne.edu.ar/pub/biomasa.pdf> [Consultada enero 2009]
- ARGUELLO DE FERNÁNDEZ, V.;** (1984). [Traductor]. Especies para leña: arbustos y árboles para la producción de energía. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE. Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. Turrialba, Costa Rica, 344p.
- BECKMAN, J.; CAMPERO, O.; FLORIDO, E.; ORTIZ, I.;** (2007). Viviendas autoenergéticas para las aldeas rurales de Bolivia. Coloquio Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Granada, diciembre 18.
- BOTERO B., R.; PRESTON, T.R.;** (1987). Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda – Universidad EARTH. San José, Costa Rica, 20p.
- BUNC-CA;** (2002). Manuales sobre energía renovable: Biomasa. Biomass Users Network(BUN-CA), San José, Costa Rica, septiembre, 42p.
- BIODIGESTORES.** Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes, México tercer milenio, 1998.
- CALVILLO UNNA JORGE,** La casa Ecológica, México tercer milenio 1999.
- CORACE, J.J.; AEBERHARD, M.R.; MARTINA, P.A.; VENTÍN, A.M.; GARCÍA S., E.;** (2006). Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2006, Universidad Nacional del Nordeste, Resumen T-034, 4p.
- FAO;** (2008). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma, 2008, 162p.
- GÓMEZ, J.; VINIEGRA, G.;** (1979). Uso de estiércol bovino digerido anaeróbicamente como fertilizante para vegetales. Producción Animal Tropical, 4: 25-29.
- GTZ-CVC-OEKOTOP;** (1987). Difusión de la tecnología del biogás en Colombia. Documentación del Proyecto. Cali.



**GUEVARA V., A.;** (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, 80p.

**JARABO FRIEDRICH,** biodigestión anaerobia, España, 2000.

**LÓPEZ VILLANUEVA, BERENICE.** Proyecto para la construcción de una planta de biogás a partir de desechos orgánicos en el Distrito Federal. México, 2001.

**LUCENA BONNY, ANTONIO.** Energías alternativas y tradicionales: sus problemas ambientales. España, 1998.

**MANILLA PÉREZ, EFRAÍN.** Diseño de un biorreactor para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas. México, 2000.

**PROF. MARÍA TERESA VARNERO MORENO.** Manual de biogás (FAO) CHILE 2011.

**MCGARRY, M., STAINFORTH, J.; (1978).** Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the People's Republic China. IDRC. Ottawa, Canadá.

**NOYOLA, R.A.** Apuntes del curso "Diseño de reactores anaeróbicos". Instituto de Ingeniería. UNAM, 2001.

Plantas de biogás. Diseño, construcción y operación. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia, 1972.

**OLAYA, Y.; (2006).** Diseño de un biodigestor de cúpula fija. Trabajo de Grado (Ingeniero Agrícola). Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Palmira.

**VARGAS P., M.A.;** (2006). Introducción a las energías alternativas con experimentos sencillos. La Paz, 8p.

**VARNERO MORENO MARIA TERESA;** Manual de Biogás, Santiago de Chile 2011. Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

**VELASCO Z., C.;** (2008). La experiencia colombiana en la reorganización de productores. ASOPORCITULTORES – FNP. Conferencia: Querétaro, México, septiembre 18. Disponible en Internet: <http://www.cmp.org/eventos/enc7Mem/ConsueloV.pdf> [Consultada febrero 2009]

**YANK, L.; MARTINA, P.; CORACE, J.; AEBERHARD, A.;** (sf). Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. Primeros ensayos Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina. Disponible en Internet: <http://arandu.org.ar/pub/digestororiginal1.pdf> [Consultada enero 2009]