

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“USO DE BIODIGESTORES EN LA INDUSTRIA PECUARIA”

# TESINA

PRESENTA

**CELIA AVILA VELAZQUEZ**

**ASESORES:**

DRA. MARÍA ANTONIA MARIEZCURRENA BERASAIN

MVZ. M en A. EDUARDO NAVA NAVA.

**REVISORES:**

M. en C. JESUS CHAVEZ PONCE.

Dr. en C. LEON GILDARDO VELAZQUEZ BELTRAN.



TOLUCA, MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2016.

## **DEDICATORIAS**

Agradezco a Dios infinitamente, el que me haya asignado a el hogar en que crecí, me dio una Madre ejemplar y fuerte, un Padre incansable y bondadoso, EXCELENTES PADRES, los amo, respeto y admiro, por si fuera poco cuatro hermanos y una hermana, menores a mí de los cuales me siento muy orgullosa y a los cuales amo con todo mi corazón .

Pero Dios no para, mis hermanos, también han sido bendecidos y ahora cuento con cuatro hermanas más y un hermano y de pilón la alegría de todos en casa, mis sobrinos que para mí son mis como hijos, porque de esa manera los amo.

He llegado a pensar que soy una de las consentidas de Dios puesto que todos los días me sorprende y me regalo un compañero al cual amo y respeto. Mi chaparrito.

Y para cerrar con broche de oro mi hija que es mi razón de ser, mi impulso, mi mejor creación, mi todo, te amo Tilma.

Gracias Dios pues este logro es gracias a ti, por regalarme esta motivación y llenarme el corazón de amor para ellos a quienes dedico este trabajo.

**AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de México, que me recibiera en su Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia pues en conjunto me han hecho crecer.

A mis asesores la Doctora María Antonia Mariezcurrena Berasain y a el MVZ. M en A. Eduardo Nava Nava. Por su paciencia y apoyo.

**INDICE**

DEDICATORIAS .....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	7
MATERIAL.....	8
MÉTODO .....	9
CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES DE LOS BIODIGESTORES.....	11
1.1.- ¿QUE ES UN BIODIGESTOR?.....	11
1.2.- HISTORIA DE LOS BIODIGESTORES.....	12
1.3.- BIODIGESTION EN MEXICO. ....	13
1.4.- DIGESTION ANAEROBIA.....	13
1.5.- FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	16
CAPITULO 2.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE LOS BIODIGESTORES...22	
2.1.- RESIDUOS ORGANICOS DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA.....	23
2.2.- MANEJO DE EXCRETAS. ....	24
2.3.- CONTAMINACION AMBIENTAL POR RESÍDUOS AGROPECUARIOS...26	
CAPITULO 3.- TIPOS DE BIODIGESTORES. ....	30
3.1.- PORTATILES .....	30
3.2.- FLUJO CONTÍNUO.....	31
3.3.- FLUJOSEMI-CONTÍNUO.....	32
3.4.- FLUJO DISCONTINUO.....	34
3.5.- CAPACIDADES DE LOS BIODIGESTORES.....	34
CAPITULO 4.- DISEÑO DE UN BIODIGESTOR.....	40
4.1.- ELEMENTOS QUE COMPONEN UN BIODIGESTOR. ....	40

4.2.-PROCESOS DE ELABORACIÓN DE UN BIODIGESTOR CASERO. ....	43
CAPÍTULO 5.- BIOGAS. ....	47
5.1.- COMPONENTES DEL BIOGAS. ....	50
5.2.- VALOR CALORICO. ....	50
5.3.- METANO. ....	50
5.4.- FACTORES DE LOS QUE DEPENDE LA PRODUCCION DE BIOGAS. ..	52
5.5.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS. ....	58
CAPITULO 6.- SUBPRODUCTOS DEL BIODIGESTOR. ....	59
6.1.- ABONO ORGANICO. ....	59
6.1. 1.- COMPOSICION DEL ABONO. ....	60
6.1.2.- EFECTOS DEL ABONO ORGANICO EN EL SUELO. ....	61
LÍMITE DE ESPACIO .....	62
LÍMITE DE TIEMPO. ....	63
CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS. ....	64
LITERATURA REVISADA .....	65

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Modelo de un biodigestor .....	11
Figura 2. Respiración anaerobia de la glucosa .....	15
Figura 3. Fermentación anaerobia de la glucosa en etanol .....	15
Figura 4. Fases de la Digestión Anaerobia .....	21
Figuras 5 y 6. Gases de Efecto Invernadero .....	29
Figura 7. Tipos de biodigestores .....	30
Figura 8. Biodigestor portátil .....	31
Figura 9. Biodigestor biobolsa .....	31
Figura 10. Biodigestor de flujo continuo .....	31
Figura 11. Biodigestor de flujo semi-continuo .....	32
Figura 12. Biodigestor tipo Chino .....	33
Figura 13. Biodigestor Taiwanws .....	34
Figura 14. Biodigestor tipo Olade Guatemala .....	34
Figura 16. Tanque de homogenizacion integrado .....	40
Figura 17. Homogenizacion por separado .....	40
Figura 18. Cámara de digestión .....	41
Figura 19. Pila de descarga .....	41
Figura 20. Cubierta plástica .....	42
Figura 21. Tubería y válvulas .....	42
Figura 22. Perforaciones en la tapa del contenedor .....	44
Figura 23. Instalación de la tubería de gas .....	44
Figura 24. Sellado del tubo de carga .....	45
Figura 25. Agitador .....	45
Figura 26. Perforaciones para salida del efluente .....	45
Figura 27. Sellado del contenedor .....	46
Figura 28. Uso del biogás .....	49
Tabla 1. Producción de biogás de acuerdo al volumen de materia orgánica ...	37

Tabla 2. Inhibidores del biogás .....	49
Tabla 3. Porcentaje metano en el excremento .....	51
Tabla 4. Nutrientes en las excretas .....	52
Tabla 5. Composición química del estiércol .....	53
Tabla 6. Producción de biogás .....	53
Tabla 7. Relación carbono nitrógeno de residuos animales .....	55
Tabla 8. Solidos totales en residuos animales .....	56
Tabla 9. Rango de temperatura y tiempo de fermentación anaerobia .....	56
Tabla 10. Componentes del abono orgánico de bovino .....	60

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años el crecimiento desmesurado de la población ha provocado un incremento del consumo de combustibles los cuales forman parte fundamental para el desarrollo de las poblaciones, a consecuencia de esto se presentan algunas problemáticas tales como, el incremento del costo de estos, el agotamiento de las fuentes minerales que los proveen y por si fuera poco hay que agregar la dificultad de su distribución en las zonas rurales. Uno de los combustibles más demandados y necesarios para el día a día es el gas que se ocupa en los hogares, hay zonas rurales que incluso lo ocupan hasta para generar energía eléctrica, y esto lleva a pensar de qué manera solventar esta necesidad si como bien se sabe las zonas rurales es donde en ocasiones existen mayores problemas de marginación (LONDRES, 2016).

Hoy en día la necesidad del hombre y la preocupación por el destino de las generaciones futuras ha provocado que este se auxilie de la tecnología y busque otras fuentes de energía que sean sustentables, económicas y garanticen el abastecimiento de este recurso a largo plazo. Derivado de lo anterior, se ha diseñado un equipo innovador que garantiza la producción de gas natural al cual se conoce como equipo digestor o biodigestor, que genera combustible conocido como biogás, el cual, es importante mencionar que es funcional tanto para un hogar como para una gran empresa y se puede implementar en zonas rurales o urbanas (Ávila, 2016).

El Biogás es una buena alternativa energética que a diferencia del petróleo y sus derivados, nunca se va a agotar, también es una alternativa para disminuir el consumo de leña y con esto la tala de bosques, a la vez que hay un ahorro de dinero en consumo de gas y energía. Hay estudios en algunos países en los cuales han empleado como biomasa lodo pantanoso. Se puede utilizar al igual que otros gases como combustible es decir que se puede utilizar en la estufa,



congelador, lámparas de iluminación, calentadores y otros aparatos que funcionen con gas (Xipe, 2013).

Otro de los resultados de este equipo aparte de la producción de biogás es un abono orgánico conocido como bioabono. En la actualidad existe interés en la búsqueda de alternativas que eviten el uso de agroquímicos ya que estos nunca podrán sustituir a los abonos naturales por las grandes desventajas que es presentan al alterar los ecosistemas naturales en favor de la aparición de un conjunto de organismos no deseables en la agricultura y en desmedro de la flora natural quienes cumplen un papel determinante en el reciclaje natural de la materia orgánica (Sayas, *et al.*, 2012).

Los productos bioenergéticos tienen factibilidad en muy diversos niveles: en lo humano se evitan enfermedades creadas por la descomposición de la materia orgánica, tales como: Salmonella, Listeria, Norovirus, Bacillus cereus, etc y plagas, en lo económico se crean empleos en pequeñas y medianas empresas y desarrollo, en lo ecológico contribuye a la disminución del impacto ambiental y en lo social no involucra la transformación de alimentos de la canasta básica es decir no afecta la seguridad alimentaria. Según un informe de la FAO de 2006, el 18% de las emisiones de efecto invernadero provienen de los desechos del ganado. El gas metano que emite el excremento es 23 veces más dañino para la atmósfera que el CO<sub>2</sub> (Ávila, 2001).

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

El impacto ambiental de la sociedad sobre la tierra alcanza niveles alarmantes y a la cantidad de desechos orgánicos que se generan en exposición al aire libre crean una cantidad exorbitante de gases, gracias a la degradación de todos estos desechos y no sólo en la industria pecuaria tomando en cuenta que hay residuos que se producen en las viviendas, en los pueblos, en las ciudades, el campo, centros de acopio de frutas, hortalizas y otros alimentos. Debido a esto, existe tecnología que ayuda a aprovechar estos residuos orgánicos a la cual se le da el nombre de biodigestor o tanque de digestión, que es un contenedor hermético, el cual, se alimenta de estos residuos orgánicos, y los degrada para convertirlos en gas metano o biogás y abono orgánico (Groppelli *et. al*, 2001).

En la antigüedad aproximadamente en el siglo XVIII se detectó la presencia de este gas en los fangos de los pantanos, el primer científico en tratar de aislarlo fue Luis Pasteur, de allí se desprenden los avances tecnológicos actuales y el interés de un sinnúmero de países por esta innovación. Pero en nuestro país a pesar de ser un tema muy relevante existe poca difusión y muy pocos biodigestores en función lo cual no debería ser así puesto que la industria pecuaria produce cantidades excesivas de desechos; según la FAO se utilizan, en México 145 millones de hectáreas de las 198 existentes y tenemos el 13° lugar en producción de leche y no existe una norma, ley o regla que indique como tratar estos desechos de manera productiva (Sayas, *et al.*; 2012).

Con esta tecnología se lleva a cabo un proceso de digestión anaerobia que trabaja bajo el principio de que en ausencia del oxígeno las bacterias presentes en el residuo orgánico fomentan un proceso de degradación caracterizada por la existencia de 4 fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, interviniendo 5 grandes poblaciones de microorganismos (Besel, 2007).

Los desechos orgánicos o fuentes de los cuales se abastecen los biodigestores pueden ser de origen animal o vegetal, pero los que producen mayor cantidad de gases que crean el efecto invernadero a su degradación, son los de origen animal, los cuales no solo provienen de granjas, también de rastros, mataderos, fincas productoras de leche, pescaderías, etc. (PROSAP, 2009). Como ya se mencionó, no existe un reglamento como tal para el manejo de residuos en México a diferencia de otros países como Estados Unidos y Canadá donde existen normas que son muy rigurosas (Pinos, 2012).

Es muy importante crear una reglamentación puesto que estos desechos crean un sinnúmero de conflictos por mencionar algunos, el calentamiento del planeta, la degradación de las tierras, la contaminación atmosférica y del agua, la pérdida de biodiversidad y en baja medida pero con presencia enfermedades en el humano generalmente por bacterias. Se estima que tan solo los bovinos son responsables del 18% de la emisión de gases (FAO, 2006).

Por lo antes mencionado, es importante conocer sobre los biodigestores, su función y los subproductos que genera, tomando en cuenta que existen diferentes tipos adecuándose a las necesidades de abastecimiento del lugar donde se va a instalar, y se clasifican de acuerdo a su forma de operación o frecuencia de introducción de materia orgánica. Existen tres diferentes tipos de biodigestores: flujo-continuo, que se caracteriza porque la carga de materia orgánica debe ser constante, flujo-semi-continuo, se carga en lapsos cortos (puede ser cada 12 horas, una vez al día o cada dos días) y flujo-discontinuo, se carga una sola vez y se retira cuando se deja de producir biogás (Vamero, 2011).

En cuanto a la capacidad de los biodigestores, depende su tipo, la cantidad y contenido de la materia orgánica, la especie a la que se produce, cantidad de animales, peso vivo promedio y de la necesidad de producción de biogás la cual

es muy diversa haciendo referencia que incluso hay biodigestores de uso doméstico y otros de mayor dimensión que son los de uso industrial, se debe tomar en cuenta la posición del biodigestor ya sea vertical u horizontal (Martínez, 2016). Es necesario documentarse para saber que el buen funcionamiento de los biodigestores y la creación de sus subproductos se da bajo ciertas condiciones ambientales, físicas, químicas y biológicas y claro, ocupando el material y la elaboración o construcción correcta del biodigestor, que son determinantes para tener éxito en éstos procesos (Biomax, 2008). Es importante ampliar los conocimientos y promover el desarrollo sustentable de todos los sectores productivos a través de energías limpias y renovables como el biogás y la producción de alimentos sanos mediante abonos orgánicos libres de agrotóxicos. Devolver a los ciclos de la naturaleza todo lo que se pueda en las mejores condiciones, como retribución de todo lo que se obtiene de ella y para poder mantener la fertilidad de los suelos. Pensar que después de esta generación vienen nuevas, por lo cual, hay que estimular experiencias en favor de una economía ambiental en contraposición a la economía tradicional con su visión incompleta de la naturaleza y la sociedad, apostando fuertemente a la supervivencia del planeta y la gente, antes de que sea demasiado tarde para recuperar los recursos y sistemas vitales degradados (Biomax, 2008).

## **JUSTIFICACIÓN**

En el país la información sobre energía renovable está muy dispersa y el nivel de contaminación por desechos pecuarios, que contaminan la atmosfera, el agua y la tierra va en aumento. El trabajo refleja un aporte bibliográfico técnico-científico como alternativa a la disminución de la contaminación y un ahorro en la economía familiar teniendo una cobertura en todos los niveles económicos. Destacando que la tecnología tiene avances muy positivos que ayudan a frenar las alteraciones ecológicas que los humanos provocan y preocupándose por el porvenir de generaciones futuras, tomando en cuenta que el combustible es indispensable y las reservas de combustibles fósiles se están terminando, agregando a esto el incremento de la población.

## **OBJETIVOS**

Realizar un documento en el cual se concentre la información de diversas fuentes referente a los biodigestores y su uso en la industria pecuaria.

Proporcionar al público en general, especialistas en el ramo, productores pecuarios, alumnos de la carrera en Medicina Veterinaria y Zootecnia y afines un documento de consulta rápida sobre biodigestores y su utilidad en la industria pecuaria.

## **MATERIAL**

De escritorio

Libros

Revistas

Computadora

Impresora

Papel

Lápiz

Internet

Revistas electrónicas especializadas

Videoconferencias

Artículos arbitrados e indexados

Periódicos

Tesis

## **MÉTODO**

El documento se desarrolló conforme a la siguiente estructura:

### Capítulo 1 GENERALIDADES DE LOS BIODIGESTORES

- 1.1 ¿Que es un biodigestor?
- 1.2 Historia de los biodigestores
  - 1.2.1 Biodigestión en México
- 1.3 Digestión anaerobia
- 1.4 Fases de la digestión anaerobia

### Capítulo 2 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE LOS BIODIGESTORES

- 2.1 Residuos orgánicos de la producción pecuaria
- 2.2 Manejo de excretas
- 2.3 Contaminación ambiental por residuos Agropecuarios

### Capítulo 3 TIPOS DE BIODIGESTORES

- 3.1 Portátiles
- 3.2 Flujo continuo
- 3.3 Flujo semi-continuo
- 3.4 Flujo discontinuo
- 3.5 Capacidades de los biodigestores

### Capítulo 4 DISEÑO DE UN BIODIGESTOR

- 4.1 Elementos que componen un biodigestor
- 4.2 Procesos de elaboración de un biodigestor casero
  - a) Materiales
  - b) Proceso

### Capítulo 5 BIOGAS



5.1 Componentes del biogás

5.2 Valor calórico

5.3 Metano

5.4 Factores de los cuales depende la producción de biogás

5.5 Ventajas y desventajas

## Capítulo 6 SUBPRODUCTOS DEL BIODIGESTOR

6.1 Abono Orgánico

6.1.1 Composición del abono

6.1.2 Efectos del abono orgánico en el suelo

a) físicas

b) químicas

c) biológicas

## CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES DE LOS BIODIGESTORES.

### 1.1.- ¿QUE ES UN BIODIGESTOR?

Los biodigestores toman su término de digestivo o digestión, son sistemas ecológicos o contenedores de concreto, polietileno, hormigón, metal e incluso bolsas, cerrados herméticamente e impermeables que producen biogás y abono natural a partir de desechos orgánicos, los cuales pueden ser, excrementos de origen animal y humano así como restos vegetales (Elizondo, 2005).

Estos residuos se degradan mediante un proceso de descomposición, convirtiéndose en energía limpia y abono orgánico para su uso en las tareas del campo, por lo que es un avance tecnológico que crea ahorro energético ideal para las zonas rurales o para países en vías de desarrollo (ver figura 1). Los biodigestores se utilizan con mayor frecuencia con el tratamiento de excrementos de ganado bovino y porcino, ya que ambos generan gas metano en una mayor medida. Se pueden usar tanto para emitir energía térmica como eléctrica (Sayas, *et al.*; 2012).

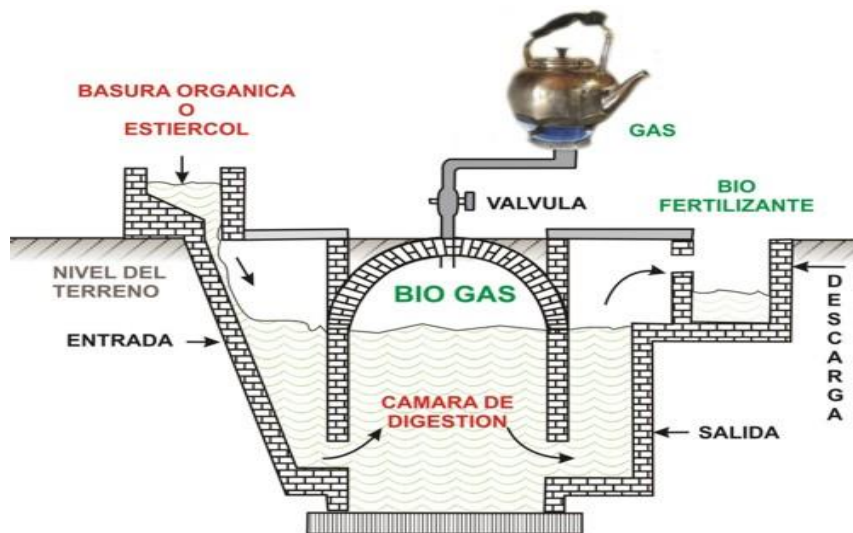


Figura 1. Modelo de un biodigestor (Biodisol, 2013).

## **1.2.- HISTORIA DE LOS BIODIGESTORES.**

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India fomentando la producción de biogás y bioabono impulsados por la necesidad energética de campesinos para usarse como calefacción en invierno, eran apropiados para hogares aldeanos y alimentados con estiércol y desechos vegetales (Concytec, 2006).

En 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad (Wang, 2016).

En 1920 Karl Imhoff puso en práctica el primer tanque digestor en Alemania de los cuales posteriormente se hizo una difusión por todo el mundo (PROSAP, 2009).

Posterior a la primera y la segunda guerra mundial comienzan a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás, este producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades y se llegó a inyectar en la red de gas comunal (Ávila, 2009).

En 1930 el gobierno chino comienza a alentar la construcción de biodigestores para el hogar mayormente en las zonas rurales. Esto a raíz de que el problema no era para cubrir una necesidad energética sino sanitaria (Wang, 2016).

Durante la década de 1950, en Asia y particularmente en la India, se desarrollan modelos simples de cámaras de fermentación más conocidos como biodigestores, para la producción de biogás y bioabono. En China, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos estos métodos fueron difundiéndose y desarrollándose de tal manera que en la actualidad estos países cuentan con más

de 30 millones de Biodigestores funcionando, además desarrollaron técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala (Sayas, *et al.*; 2012).

### **1.3.- BIODIGESTION EN MEXICO.**

Hay registros que muestran la existencia de 563 sistemas de biodigestión de acuerdo a los 142 Project Design Document (PDD) encontrados en la página web de la UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), relacionados con la reducción de emisiones de metano en el sector agropecuario en México. En los últimos años muchas unidades han incorporado sistemas de biodigestión dentro de sus procesos productivos, el fin concreto de la instalación de ésta tecnología fue en un principio la comercialización de Bonos de Carbono, por la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En la actualidad se han visualizado una diversidad de usos y aplicaciones de estos sistemas, tales como la reducción de contaminantes en las descargas de aguas residuales de las unidades pecuarias y la generación de energía eléctrica. (SAGARPA, 2009).

### **1.4.- DIGESTION ANAEROBIA.**

La digestión anaerobia es un proceso biológico de fermentación complejo, el cual se caracteriza por una transformación de los residuos orgánicos mediante la degradación por bacterias que no requieren del uso de oxígeno y finalmente con su reacción producen gases, de los cuales predomina el metano (Osorio, *et al.*; 2007). Este proceso anaerobio se clasifica como fermentación anaerobia o respiración anaerobia dependiendo del tipo de aceptores de electrones.

Recordando que no solo existe la digestión anaerobia también hay otro proceso biológico que difiere de este, puesto que si requiere la presencia del oxígeno para que los microorganismos degraden la materia orgánica, llamada digestión aerobia, su principal problema es que encarece los costos del tratamiento por la cantidad

adicional de energía necesaria para el suministro de aire. Otra de las razones es que en la digestión anaerobia más del 90 % de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10 % de la energía en el crecimiento bacteriano frente a un 50 % consumido en el proceso aerobio. Otro aspecto muy ventajoso es que la generación de lodos en exceso es mucho menor en el proceso anaerobio que en el aerobio, por lo que también se reducen los costos de tratamiento de los lodos (Acosta, *et al.*; 2005).

En los organismos aerobios el oxígeno es el receptor final de los electrones durante la respiración. Esto es muy eficiente pues el oxígeno tiene un potencial muy bajo de reducción. Los organismos anaerobios utilizan receptores de electrones que tienen un potencial más alto de reducción que el oxígeno, lo que significa que la respiración es menos eficiente y conduce generalmente a tasas de crecimiento más lentas que en los aerobios (ver fig. 2). Muchos anaerobios facultativos pueden utilizar tanto oxígeno como receptores finales de electrones alternativos para la respiración dependiendo de las condiciones ambientales. La mayoría de los organismos de respiración anaerobia son heterótrofos, aunque hay algunos autótrofos. Se conocen también las rutas asimilativas de muchas formas de respiración anaerobia. En ausencia de un aceptor externo de electrones, muchos organismos pueden oxidar algunos compuestos orgánicos con liberación de energía, proceso denominado fermentación (ver fig. 3). Bajo esas condiciones sólo se produce la oxidación parcial del compuesto orgánico, y únicamente es liberada una pequeña parte de la energía, permaneciendo el resto en los productos resultantes. Las oxidaciones parciales implican la misma sustancia como dador y aceptor de electrones a la vez (Blanco, 2015).

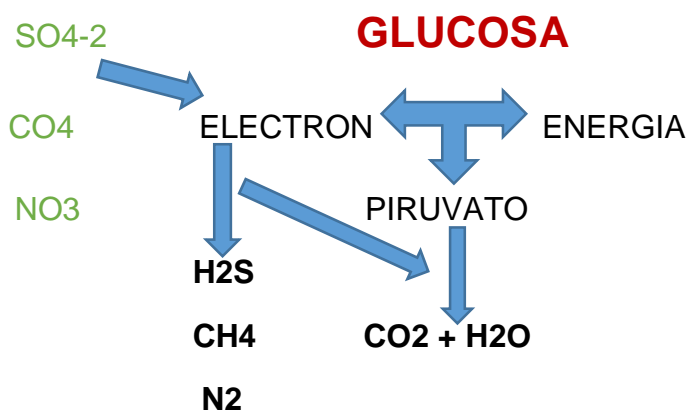


Figura 2. Respiración anaerobia de la glucosa (Varnero, 2011)

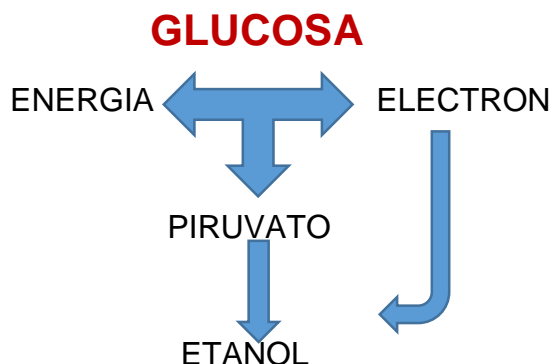


Figura 3. Fermentación anaerobia de la glucosa en etanol (Varnero, 2011)

Los microorganismos involucrados en el proceso de degradación varían dependiendo del material a degradar. Los alcoholes, ácidos grasos y los enlaces aromáticos pueden ser degradados por la respiración anaeróbica de los microorganismos. Estos utilizan, entre otros nutrientes, el nitrato (*Paracoccus denitrificans*, *Pseudomonas stutzerii*), azufre (*Desulfuromonas acetoxidans*, *Pyrodictium occultum*), sulfato (*Desulfovibrio desulfuricans*, *Desulfonema limicola*), carbonato (*Acetobacterium woodi*, *Clostridium aceticum*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*), fumarato (*Escherichia coli*, *Wolinella succinogenes*) o Fe(III) (*Alteromonas putrefaciens*) como aceptores de electrones, por lo que

pueden denominarse reductores de nitrato, reductores de sulfato, etc.. (Varnero, 2011).

Los productos finales de la digestión anaerobia pueden descomponerse en productos gaseosos (Biogás) y en digestato que es una mezcla de productos minerales y compuestos de difícil degradación (Laines, *et al.*; 2013).

### **1.5.- FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.**

La digestión anaerobia está caracterizada por la existencia de varias fases de fermentación consecutivas diferenciadas en el proceso de digestión en el sustrato, interviniendo cinco grandes poblaciones de microorganismos. La digestión de la materia orgánica ocurre en cuatro etapas o fases básicas: hidrolisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis; en la etapa final, los compuestos intermedios formados en las etapas anteriores se rompen para formar gases (denominado biogás) que es almacenado como producto principal del proceso (Besel, 2007).

#### **HIDROLISIS**

La primer fase es la Hidrolisis o licuefacción, en esta etapa los compuestos orgánicos son solubilizados por enzimas excretadas por bacterias hidrolíticas que actúan en el exterior celular por lo que se consideran exoenzimas. La hidrólisis es, por tanto, la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros, esta fase es la que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia (González *et al.*; 2007). La hidrolisis puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de ciertos factores.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos (Martí, 2002).

Las proteínas, este sustrato es una fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional, son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso (Gropelli, 2005).

La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol (Besel, 2007).

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiosa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura, ésta depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaeróbico, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores. Los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis. Entre estos destacan: *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Propioni- bacterium*, *Sphingomonas*, *Sporobacterium*, *Megasphaera*, *Bifidobacteriu* (Besel, 2007).



## ACIDOGENESIS

En esta etapa tiene lugar la fermentación de los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (Moreno, 2010).

La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos (Gropelli, 2005).

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género *Clostridium*, *Paenibacillus* y *Ruminococcus* están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica. El grupo *Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides* representa el segundo grupo más grande de microorganismos durante las dos primeras fases de la descomposición. Sin embargo, en la fase metanogénica representan menos del 5% del total de microorganismos. Esto indica que estos grupos son los principales responsables de la degradación de compuestos monoméricos (Varnero, 2011).

## ACETOGENESIS

Hay productos que resultan de la fermentación que no pueden ser metabolizados directamente como etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos y por consiguiente deben ser transformados en productos más

sencillos como acetato ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini* (Moreno, 2010).

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla  $\text{H}_2/\text{CO}_2$ ) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*.

En esta parte del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento del sustrato orgánico y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente (Varnero, 2011).

## METANOGENÉISIS

Los microorganismos metanogénicos actúan sobre los productos resultantes y pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización, completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un

enlace covalente: acetato, H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, formato, metanol y algunas metilaminas (Gropelli, 2005).

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio *Archaea* y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas. Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas (Gropelli, 2005).

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H<sub>2</sub> como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanothrix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol (ver fig, 4). El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior (Martí, 2002).

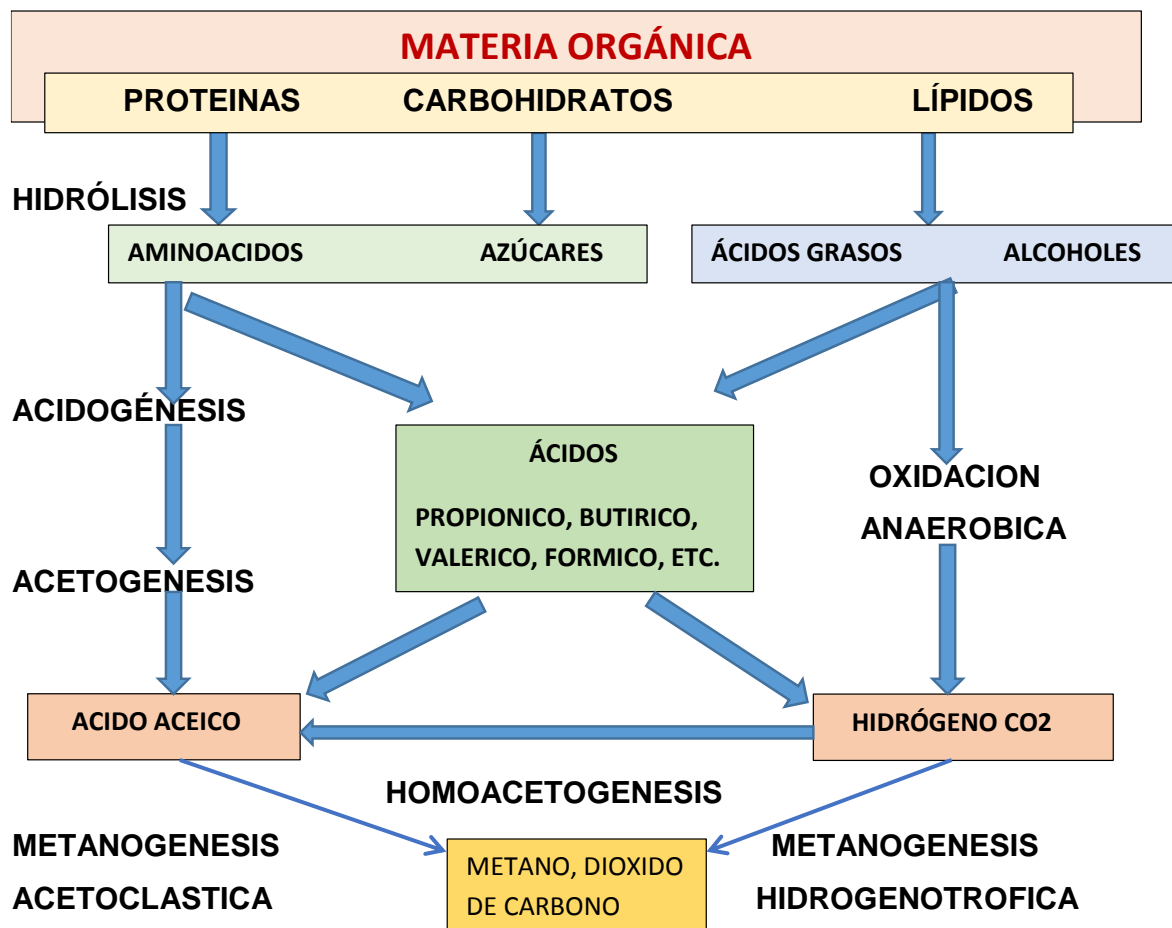


Figura 4. Fases de la Digestión Anaerobia (Cendales, et al.; 2014).

## **CAPITULO 2.- FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE LOS BIODIGESTORES.**

Un biodigestor utiliza una tecnología que proporciona ahorro en el ingreso de pequeños y grandes productores, al abastecerse de una fuente de energía renovable sin ningún costo y aprovechando el material orgánico de su propia actividad ganadera. Es importante saber que la materia orgánica que abastece a los biodigestores la podemos clasificar en cuatro tipos:

**Materia Orgánica Natural.-** Es la que se produce en ecosistemas naturales sin la intervención humana. La explotación invasiva de este recurso no es compatible con la protección del medio ambiente.

**Materia Orgánica Residual.-** Es la que genera cualquier actividad humana, principalmente en los procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, como basura y aguas residuales, incluye los residuos de industrias forestales y agrícolas, los residuos sólidos urbanos y biodegradables.

**Materia Orgánica Producida (Cultivos Energéticos).-** Es la que se cultiva con el propósito de obtener materia orgánica que se transforme en combustible. Son cultivos que se caracterizan por una gran cantidad de producción de materia viva por unidad de tiempo y por permitir minimizar los cuidados al cultivo (Mugard, 2015)

**Excedentes Agrícolas.-** Estos son los que no se utilizan para la alimentación del ser humano.

La materia orgánica de manera general proviene de dos grandes fuentes naturales que son vegetal y animal, tomando en cuenta que la materia orgánica de origen animal es la que produce una cantidad excesiva de contaminantes que dañan el medio ambiente disminuyendo la calidad de vida de todo ser vivo, y por consecuencia es la materia más rica para el abastecimiento de los biodigestores (Villa, 2009).

Funciona como una fuente de combustible gaseosa que se genera a partir del deshecho del ganado vacuno o porcino, materia prima que al fermentarse puede satisfacer cualquier demanda térmica. En grandes volúmenes tiene la capacidad de generar energía eléctrica (Biomax, 2008).

Este avance tecnológico no solo nos sirve para grandes explotaciones tomando como punto de partida la necesidad en los hogares y denotando que las sustancias que se pueden fermentar son diversas, tales como, estiércol líquido y seco de vacuno y cerdo, excremento seco de aves, cama de ganado estabulado, cama de pollo, sorgo de Alepo, desperdicios de comedores y mercados, desechos de forrajes y verduras, restos de la agroindustria, aceites de freidoras y grasas flotantes, desechos de queso, desechos de frigoríficos y mataderos, cereales, col, remolacha forrajera, tubérculos paja etc.. (PROSAP, 2009).

## **2.1.- RESIDUOS ORGANICOS DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA.**

El crecimiento de la población y la mejora de vida provoca la intensificación de la producción animal la cual presenta dos características centrales: mayor número de animales por unidad de superficie (con el correspondiente aumento del uso de insumos en su alimentación) y la concentración de la producción animal en un menor número de productores. Esta práctica busca mejorar la eficiencia en la conversión de alimentos a carne, pero por otro lado, se genera un incremento de los flujos de energía, nutrientes y riesgos de contaminación producto de la concentración de excretas en áreas reducidas (Delgado, *et al.*; 2007). La cantidad de residuos que generan estos establecimientos agropecuarios depende de variables relacionadas con el tipo de animal (peso corporal y forma de alimentación, entre otros) y con el manejo que el mismo realice (forma de crianza y métodos de limpieza principalmente) (Herrero, *et al.*; 2008).

Los animales excretan al ambiente entre 60 y 80% del nitrógeno (N) y el fósforo (P) que ingieren, a través de la orina y las heces (Van Horn *et al.* 1994). La

contaminación atmosférica por los gases de efecto invernadero (GEI) es la más relevante debido a sus efectos a nivel global. Los principales gases son el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. Estos gases son componentes normales de la atmósfera y permiten mantener la temperatura alrededor de los 15-16 °C. El aumento de sus concentraciones por las actividades humanas (industriales, agro ganaderas y de transporte) es responsable del calentamiento global. La producción pecuaria contribuye con desechos orgánicos tales como, excremento, orina, huesos y restos de carne, cascarones de huevo, desperdicios de leche, pienso y granos, a través de la emisión de metano y óxido nitroso asociada a la dieta de los animales y al manejo del estiércol en sistemas intensivos (SAyDS 2007).

## **2.2.- MANEJO DE EXCRETAS.**

Los problemas de contaminación que acarrea la industria pecuaria se atribuyen al crecimiento de la misma, por la cantidad de materia orgánica de desecho y los problemas ambientales y de salud que esta acarrea, pero esto no se debería ver como un problema si no como una alternativa para la obtención de energía y abono que incluso contribuiría a la economía del productor (Romero, *et al.*; 2013).

Debido a la diversidad de la producción pecuaria en México no existen reglas, normas o técnicas, como tal, que indique el manejo de estas excretas, a diferencia de otros países como, en EE.UU. que hay legislaciones específicas para el manejo y el depósito de excretas animales que impacten cuerpos de agua, suelo y atmósfera, las cuales son supervisadas y certificadas por la agencia de protección ambiental (EPA). En Canadá las regulaciones para manejo y depósito de excretas animales no son menos rigurosas. En Argentina, Chile, Colombia e incluso México, la regulación y vigilancia gubernamental sobre el uso y manejo de excretas animales es escasa y confusa, ya que sólo se especifican ciertas normas sobre descargas de contaminantes al agua, restando importancia en las emisiones

a la atmósfera y suelo, y sin especificaciones claras relacionadas con excretas de ganado (Pinos, *et al.*; 2012). Por ejemplo, las excretas de los cerdos son muy interesantes desde el punto de vista de la digestión anaerobia, no solo por su alta capacidad de producir metano, también por su alta concentración de nutrientes (Romero, *et al.*; 2013).

A pesar de no tener un reglamento para el manejo de excretas el hombre ha desarrollado técnicas bajo sus experiencias que le han permitido canalizar estos desechos aun cuando no se aprovechen al máximo y algunos de ellos sigan contaminando pero en menor medida y estas son:

- Aplicación al suelo: En esta técnica parte de la materia orgánica regresa al suelo pero crea fundamentalmente dos problemas, la formación de malos olores por la descomposición, la emisión de amonio a la atmosfera y los escurrimientos.
- Almacenamiento: Esta técnica es noble si se tiene el proceso de almacenamiento bajo supervisión de los tiempos para que los nutrientes estén disponibles para los cultivos en el momento indicado.
- Adictivos: Se pueden usar químicos y microorganismos para cambiar las propiedades de los lodos.
- Separación de sólidos y líquidos: Se hace de manera tradicional y práctica, manual.
- Sistema de tratamiento basado en suelos: Esto se utiliza para los desechos líquidos mediante filtros biológicos, y hay dos sistemas.
  - a) Sistema de flujo percolador, empleado en suelos permeables como los franco arenosos.
  - b) Sistemas de flujo sobre la tierra, empleados en suelos impermeables como la arcilla.



- Camas de juncos y tratamiento en pantano: Composta y vermicomposta: El proceso de hacer composta es la descomposición de una mezcla de materiales orgánicos de desecho por una variedad de microbios en un ambiente húmedo, caliente y aeróbico.  
La vermicomposta es el manejo controlado de la actividad de lombrices para aprovechar la proteína de las lombrices y desechos trabajados por ellas.
- Tratamiento aeróbico-biológico de desechos líquidos: Esta se lleva a cabo mediante los microorganismos aerobios.
- Digestión anaerobia: Mediante el uso de biodigestores (Mendoza, 2013).

### **2.3.- CONTAMINACION AMBIENTAL POR RESÍDUOS AGROPECUARIOS.**

Un nuevo informe de la FAO, 2006 señala que la producción pecuaria es una de las causas principales de los problemas ambientales más apremiantes del mundo, como el calentamiento del planeta, la degradación de las tierras, la contaminación atmosférica y del agua, la pérdida de biodiversidad y en baja medida algunas enfermedades en el ser humano generalmente por bacterias. El informe estima que el ganado es responsable del 18% de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, un porcentaje mayor que el del transporte. Al hablar del sector pecuario tenemos que resaltar que hay tres especies ganaderas: bovino, cerdo y aves que predominan en la producción y consumo, las cuales, emiten un alto contenido de contaminantes (CONACYT, 2002).

En México, la destrucción del medio ambiente incide directamente en la crisis del campo, y la mala práctica agropecuaria contribuye a degradar aún más ecosistema y la calidad de vida del ser humano. El 70% de agua del país está contaminada. No existen datos precisos de medición de emisiones de GEI provocados por la agricultura en México. Pero algunas dependencias exponen datos con los cuales se puede ver y dar una idea de lo mal que se está, en cuanto a este tema (Green Peace, 2009).

La industria pecuaria es muy extensa ya que se cuenta con gran cantidad de granjas y establos lecheros, lo que genera una cantidad exorbitante de desechos orgánicos, según datos de la FAO, se utilizan 145 millones de las 198 millones de hectáreas del territorio nacional para las actividades agropecuarias, a nivel mundial México ocupa el 13° lugar en producción de leche (FAO, 2006).

Las actividades agropecuarias son la base de muchas actividades comerciales e industriales, sin mencionar que toda la producción de alimentos se origina en este sector en el cual se ha encontrado que aproximadamente el 80% de los suelos del país tienen un grado de erosión, sin dejar del lado que el cambio de uso de suelo para precisamente desempeñar estas actividades agrícolas y pecuarias ocasiona aproximadamente el 82% de la pérdida de cobertura forestal en México. El 44% del suelo degradado se ha dado sin actividad ganadera; el 24% con actividad ganadera y sobrepastoreo y el 32% con la ganadería sin sobrepastoreo (Green Peace, 2009).

A nivel mundial México ocupa el lugar 12 en las emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles fósiles, con un total de 416.26 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> o el 15% de las emisiones globales. Resultados del INEGI (1990-2006), indican que el incremento en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) fue del 40% (SAGARPA, 2009).

En 1997 era preocupante a nivel mundial la emisión de principalmente 6 gases: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), algunos gobiernos participantes acuerdan el famoso Protocolo de Kioto de la Convención Marco sobre Cambio Climático de la ONU, el acuerdo entró en vigor el 16 de febrero del 2005, actualmente 116 países se han sumado y lo han ratificado también. El objetivo del Protocolo de Kioto es conseguir reducir un 5.2% la emisión de GEI globales sobre los niveles de 1990, para 2008-2012 esto en un

primer periodo. Existe un segundo periodo en el que nuevamente se reúnen los países, ratificando el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kioto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020 (Navarro, 2008).

La duración de este segundo periodo del Protocolo será de ocho años, con metas concretas al 2020. Sin embargo, este proceso denotó un débil compromiso de los países industrializados, tales como Estados Unidos, Rusia y Canadá, los cuales decidieron no respaldar la prórroga.

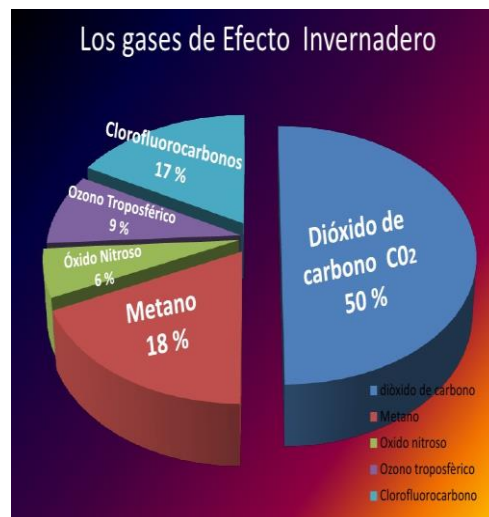
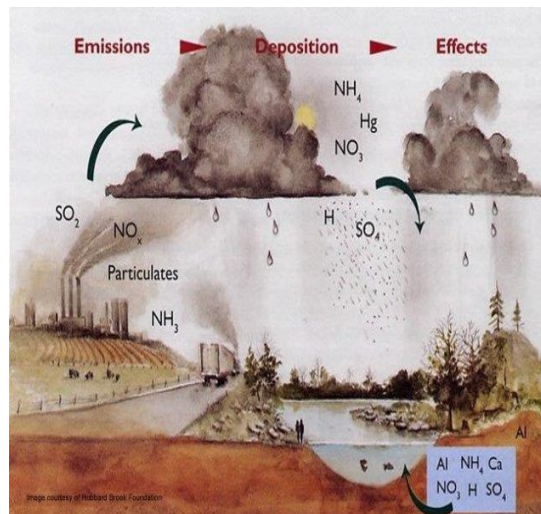
El Protocolo de Kioto incluye tres mecanismos (artículos 6, 12 y 17), diseñados para incrementar el costo-efectividad de la mitigación del cambio climático, estos mecanismos son: (Higueras, *et al.*; 2001).

Implementación conjunta

Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

Comercio de emisiones

Como país que ha ratificado el Protocolo de Kyoto, México ha participado de manera activa en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Dentro de este mecanismo, México tuvo para 2009, 178 proyectos registrados ante la Junta Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático de los cuales 142 corresponden a proyectos de reducción de emisiones de metano en el sector agropecuario. Se estima que el total de estos proyectos contribuyen con una reducción de más de 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, lo que coloca a México en la quinta posición por volumen de reducciones y número de proyectos registrados a nivel mundial (ver fig. 5 y 6) (Navarro, 2008).



Figuras 5 y 6. Gases de Efecto Invernadero (Gutember, 2012).

### CAPITULO 3.- TIPOS DE BIODIGESTORES.

Hay diversos tipos de clasificación de los biodigestores, pero de manera general se clasifican de acuerdo al diseño de construcción (horizontales o verticales), y en cuanto al tipo de proceso de alimentación empleado o tiempos de carga (flujo continuo, semi-continuo o discontinuo)(ver fig. 7) e incluso su tamaño (Pascual, 2011).

La clasificación común o general de biodigestores se designa según su forma de operación o frecuencia de cargado o introducción de materia orgánica.

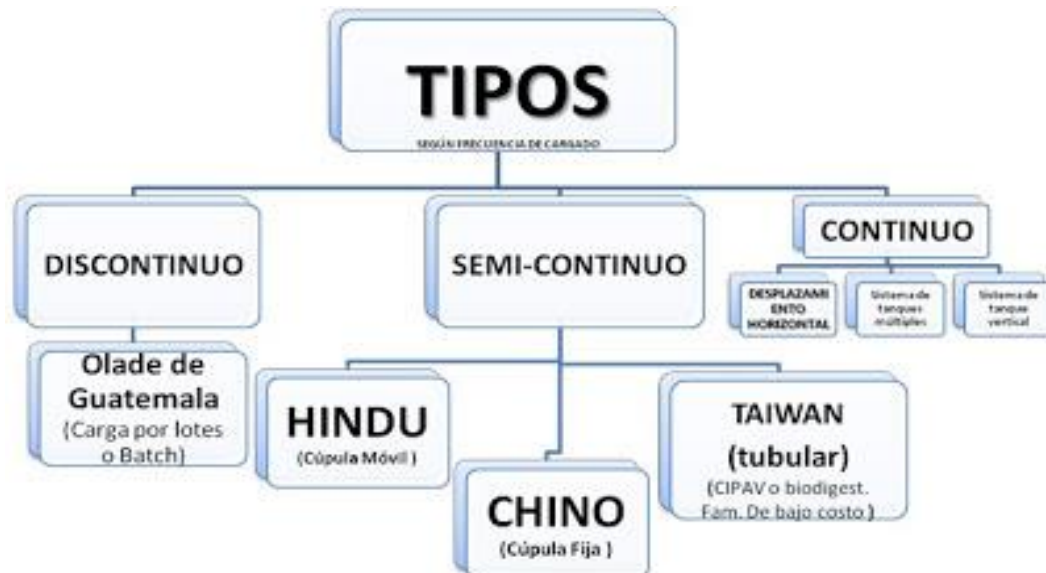


Figura 7. Tipos de biodigestores (Biomax, 2008).

#### 3.1.- PORTATILES

Este tipo de biodigestores por lo regular son de uso doméstico, son pequeños y fáciles de elaborar no tienen un costo elevado, incluso se puede elaborar en casa puesto que son modelos sencillos. Actualmente hay de elaboración comercial, los cuales son muy prácticos y podemos trasladar fácilmente; son necesarios por ejemplo, en lugares rurales a los cuales es difícil el acceso de los transportes (ver fig. 8 y 9) (Hernández, 2010).



Figura.8. Biodigestor portátil  
(Hernández, 2010)



Figura 9. Biodigestor biobolsa  
portátil (Pachamama, 2010)

### 3.2.- FLUJO CONTÍNUO.

- Se cargan continuamente, los de desplazamiento horizontal principalmente tienen la finalidad de tratamiento de aguas negras, los tanques verticales se encargan de producción a gran escala así como el uso de alta tecnología para el control, es sobre todo de corte industrial, comunal o granjas (ver fig. 10) (Biomax, 2008).



Figura 10. Biodigestor de flujo continuo (Castellanos, 2011).

### 3.3.- FLUJOSEMI-CONTÍNUO.

Se cargan en lapsos cortos y de manera directa, como de 12 horas, una vez al día, o cada dos días, se utilizan cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante en los días. Los principales, son el Hindú, el Chino, y el Taiwanés, cada uno con ventajas y desventajas, como si se quiere aprovechar más el gas, o el biol, si se quiere usarlo para fines sanitarios o de producción, diversas ventajas que se revisarán más adelante (Gómez, 2012)

- Tipo Hindú. Consiste en un estructura vertical, su estructura está elaborada de ladrillo y en ocasiones reforzada con hormigón, una campana o cúpula flotante material resistente a la corrosión con plástico reforzado, esta campana sube o baja dependiendo del volumen de gas, por lo cual requiere de una varilla central o rieles que eviten el roce con las paredes del reactor, dos zonas definidas una para la carga de la materia orgánica y otra para la descarga del abono orgánico y una cámara hermética (ver fig. 11). No requiere de gasómetro puesto que el gas se mantiene a una presión relativa, se puede dosificar sustituyendo la campana flotante por una película de polietileno resistente y flexible o por fibra de vidrio reforzada en plástico, lo cual disminuye los costos (Biomax, 2008).

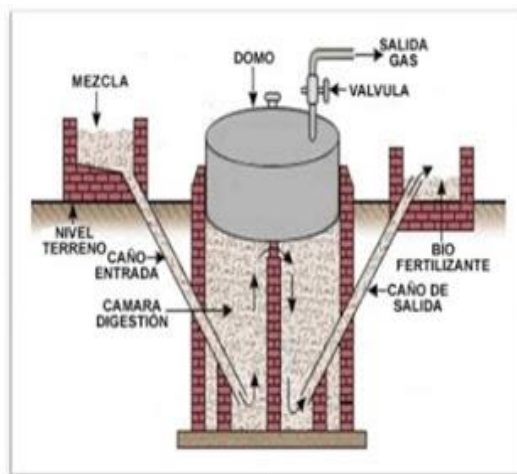


Figura.11 Biodigestor de flujo semi-continuo (Biomax, 2008).



- Tipo Chino. Modelo de campana fija, es el más usado gracias a su durabilidad, fácil manejo, funcionalidad y seguridad. Se originó en china donde está ampliamente difundido, consta de su cámara de carga y descarga puede estar construido de ladrillo, concreto armado, piedra u hormigón, las paredes internas pueden permeabilizarse con cemento o porcelana para evitar fugas de líquido (ver fig 12). Tiene altos costos de elaboración (Campos, 2011).

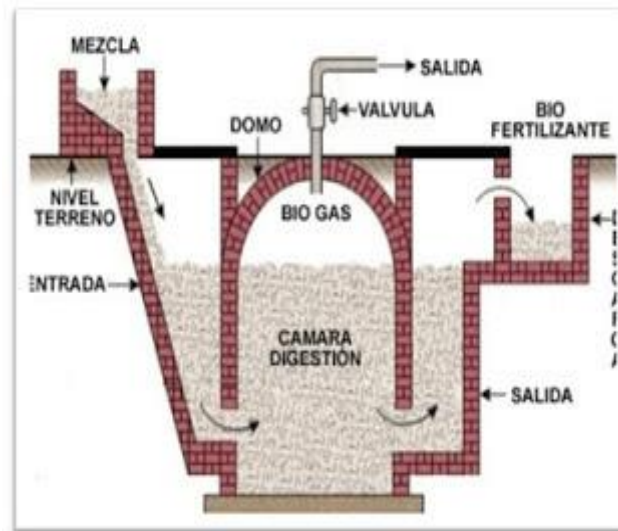


Figura.12 Biodigestor tipo Chino (Biomax, 2008).

- Tipo Taiwán Tubula o Salchicha. Debido a los costos tan altos para la construcción de los biodigestores, tomando en cuenta que es una limitante para pequeños productores, unos ingenieros taiwaneses desarrollaron este tipo de biodigestor que está hecho de polietileno pues es una bolsa-reactor por lo tanto es flexible y está semienterrado, presenta los siguientes componentes, Tubo de entrada, Tubo de afluente, Tubo de biogás, Dispositivo de seguridad y Tubo de limpieza (ver fig. 13) (Forget, 2011).





Figura 13. Biodigestor Taiwanws (Biomax, 2008).

### **3.4.- FLUJO DISCONTINUO.**

Se cargan una sola vez y se retira cuando ya se ha dejado de producir gas, solo entonces se renueva de materia orgánica. Se usa cuando la disponibilidad de materia orgánica es limitada o intermitente (ver fig. 14). La duración de la fermentación varía entre 2 y 4 meses dependiendo de las condiciones climáticas, tiene un solo orificio de carga y descarga (Castillo, 2011)



Figura. 14. Biodigestor tipo Olade Guatemala (Londres, 2016).

### **3.5.- CAPACIDADES DE LOS BIODIGESTORES.**

Cuando se va a instalar un biodigestor en una explotación pecuaria generalmente se contrata a una empresa la cual vende el producto y provee de una persona o personas capacitadas para este trabajo, el volumen o la capacidad de un biodigestor

depende de algunos datos primarios los cuales son una variable de estudio que determinan la necesidad de la explotación, generalmente los datos que se requieren son los siguientes:

- Especie animal de la que se dispone. Aquí se debe tomar en cuenta que las especies tienen diferentes horas de estancia en las corraletas, algunas se estabulan y otras pastorean.
- Cantidad de animales con los que se cuenta. En la mayoría de las granjas se cuenta con diferentes etapas de producción, esto quiere decir que hay variación en edad, peso y alimentación.
- Peso vivo promedio de los animales por especie. De igual manera habrá una variación de datos debido a las etapas productivas.
- Producción de estiércol por pesos vivo en %. Con los animales o especies que se encuentran estabuladas es lógico que habrá mayor aprovechamiento de la materia orgánica (Martínez, 2016). Se utiliza una fórmula para obtener este porcentaje:

$$PEe=PAE*TDE$$

PEe = Producción diaria de excretas por cerdo por etapa (kg/día-animal).

PAE = Peso del animal por etapa de desarrollo (kg/animal).

TDE = Tasa diaria de excreción por etapa (%).

El valor de PEe permite estimar la producción diaria total de excretas por etapa, como consecuencia se establece la siguiente relación:

$$PDT=PE*PAT$$

PDT= Producción diaria total de excretas por etapa (kg/día)

PE= Producción diaria de excremento por etapa (kg/día-animal)

PAT= Población animal (número de animales por etapa de desarrollo)

Con este dato, se procederá a determinar la cantidad total de excretas generadas en la granja, mediante el uso de la siguiente relación:

$$PTU = \sum PDT$$

PTU: Producción Diaria Total de Excretas en la Unidad Productiva (SEMARNAT, 2010).

- Producción de biogás por kg de estiércol. Para que se pueda llevar a cabo este proceso de transformación de la materia es importante tomar en cuenta que la materia orgánica contiene entre el 8 y 12% de sólidos, se requiere de una dilución y ésta se hace por medio de la adición de agua, generalmente es necesario aplicar a un kilo de estiércol tres de agua y homogenizar la mezcla, para lograr la anaerobiosis metano génica (InfoAgro, 2016).

El volúmen diario de materia orgánica que se debe introducir en un biodigestor, se recomienda un metro cubico de capacidad en el biodigestor por cada 1,000 kg de materia orgánica, tomando en consideración que tres cuartas partes de esta materia orgánica es agua (ejemplo de esto es la figura 14). Esto es equivalente a:

Volumen de Materia Orgánica = 0.886m<sup>3</sup>/día.

Tabla 1. Producción de biogás de acuerdo al volumen de materia orgánica (Martínez, 2016)

Especie animal	Tamaño	Cantidad de excretas por día/kg	Rendimiento de biogás (m <sup>3</sup> /kg excreta)	Producción de biogás (m <sup>3</sup> /animal/día)	Relación excreta: agua
Bovino	Grande	15	0,04	0,60	1:1
	Mediano	10	0,04	0,40	
	Pequeño	8	0,04	0,32	
	Ternero	4	0,04	0,16	
Cerdo	Grande	2.0	0,07	0,14	1:1 1:3
	Mediano	2,5	0,07	0,10	
	Pequeño	1,0	0,07	0,07	
Ave	Grande	0,15	0,06	0,009	1:3
	Mediano	0,10	0,06	0,006	
	Pequeño	0,05	0,06	0,003	
Ovino	Grande	5,0	0,05	0,25	1:2 a 2:3
	Pequeño	2,0	0,05	0,10	
	Mediano	1,0	0,05	0,05	
Equino	15,0	0,04			1:2 a 2:3

El tiempo de contención que debe tener la materia orgánica dentro del biodigestor para su degradación y la producción de biogás, se estima que de acuerdo a la labor de las bacterias y sus condicionantes térmicas puede ser de 20 días o más, claro esto sujeto a las condiciones ambientales (Martínez, 2016).

$$TR = 20 \text{ días} - 1.3 = 26 \text{ días}$$

1.3 es un coeficiente que depende de una temperatura de 25° C.

El volumen de digestión de la materia orgánica se determina de la siguiente manera:

$$VD = 0,886 \text{ m}^3/\text{día} \times 26 \text{ días} = 23,036 \text{ m}^3$$

Si el volumen de digestión es de  $23\text{m}^3$  es necesario determinar cuál es el volumen requerido para acumular el gas producido diariamente,

$$VG = 27 \text{ kg/cerdo} \times 0,07 \text{ m}^3/\text{kg} + (225 \text{ kg/caballo} + 144 \text{ kg/buey}) \times 12 \text{ h}/24 \text{ h} \\ \cdot 0,04 \text{ m}^3/\text{kg} = 9 \text{ m}^3$$

Volumen total del biodigestor:

$$VBD = VD + VG = 23 \text{ m}^3 + 9 \text{ m}^3 = 32 \text{ m}^3$$

Con estos dos volúmenes se puede determinar el volumen total del biodigestor.

$$VBD = VD + VG = 23 \text{ m}^3 + 9 \text{ m}^3 = 32 \text{ m}^3$$

De acuerdo a esto se determina que se requiere un biodigestor con una capacidad de  $32 \text{ m}^3$ . Esta metodología puede emplearse para el diseño de biodigestores y así podamos determinar cuál es la capacidad de un biodigestor que se necesita para alguna explotación o incluso familiar.

- Horas de estación en el establo o corral. Es necesario saber que la cantidad de materia orgánica que se obtiene de una explotación se colecta en las corraletas y no es lo mismo para cada especie, por ejemplo, la producción porcícola a la bovina o equina, las que difieren en los tiempos de estadío en corral tomando en cuenta que los cerdos cumplen con las 24 horas y los bovinos y equinos tan solo con 12 horas (SEMARNAT, 2010).

Los tanques prediseñados con características específicas o especiales varían según su forma y dimensión, entre los tanques industriales se encuentran tanque vertical cerrado desde 450 litros hasta 2,500 litros de capacidad, también tanques verticales hasta de 25,000 litros de capacidad, los tanques horizontales nodriza de hasta 5,000 litros ideales para ser transportados, tolvas de fondo cónico desde 600 litros y más,

pero como ya se mencionó, también existen biodigestores portátiles, mencionando que por ejemplo como un mínimo se requieren 20 kg. de estiércol fresco para producir 5 horas de consumo de gas (ROTOPLAS, 2015).

## **CAPITULO 4.- DISEÑO DE UN BIODIGESTOR.**

El diseño de un biodigestor depende de la cantidad de biogás que se necesita, tomando en cuenta que los tipos de biodigestores pueden ser diversos y de diferentes capacidades, y de la cantidad de materia prima con la que se cuenta es importante o determinante en la elaboración, el tipo de materiales que componen un biodigestor y parámetros que determinan la producción de biogás, pueden implementarse tanto en un hogar como en las grandes industrias (CEDEPAP, 2007).

### **4.1.- ELEMENTOS QUE COMPONEN UN BIODIGESTOR.**

De manera general podemos decir que hay 5 elementos básicos que componen cualquier tipo de biodigestor (Elizondo, 2006)

**Pila de carga:** Permite la alimentación del biodigestor, en algunos casos se diseña para homogenizar la materia orgánica, esto permite el control de los sólidos totales y el pH (ver fig. 16). De lo contrario se debe tener provisto un tanque de metal o plástico para llevar a cabo esta función eliminando los sólidos flotantes que puedan provocar la obstrucción o causar problemas en el funcionamiento del sistema (ver fig. 17) (Gómez, 2012).



Figura 16. Tanque de homogenización separado Integrado (COFUPRO, 2013)



Figura 17. Homogenización por (Ecosiembra, 2004).

**Digestor o cámara de digestión:** En esta parte es donde se lleva a cabo la digestión de la materia orgánica, podemos decir que es el centro del equipo, opuesto que de un extremo se encuentra la pila de carga y del otro la de descarga (ver fig. 18) (Díaz de Basurto, 2013).



Figura 18. Cámara de digestión (Civilgeeks, 2015).

**Pila de descarga:** Su función es retirar los residuos provenientes del tanque que fueron digeridos (abono orgánico o biol). Va colocada a menor nivel que la pila de carga para que los residuos salgan por presión hidráulica (ver fig. 19) (Huerga, et al.; 2014).



Figura 19. Pila de descarga (Vasker, 2009).



**Cubierta plástica;** Esta en caso de que sea un recipiente o envase, se coloca sobre el tanque digestor, cierra la entrada de aire al interior del mismo y almacena el gas producido (ver fig. 20) (Martí, 2008).



Figura 20. Cubierta plástica (Adim, 2016)

**Tubería, válvula de alivio y llave de paso:** La tubería es la que conduce el biogás para su combustión, esta tubería debe estar ubicada elevada y al centro del biodigestor perfectamente sellada para evitar fugas del biogás (Apolo, 2015), la válvula de alivio es una parte importante que funciona como un drenado de la tubería que conduce el biogás, se debe recordar que la materia orgánica esta diluida en agua y por evaporación una pequeña parte de esta agua llega a la tubería y sino se drena o tiene un reservorio puede obstruir el paso del biogás (ver fig. 21). La llave de paso permite que se controle el paso del biogás antes de su combustión en ocasiones se utiliza como válvula de escape cuando hay mucha producción de biogás y este no se emplea (Machorro, *et al.*; 2011).



Figura 21. Tubería y válvulas (Machorro, *et al.*; 2011)

#### **4.2.-PROCESOS DE ELABORACIÓN DE UN BIODIGESTOR CASERO.**

El proceso de elaboración de un biodigestor debe ser detallado, para tener una idea precisa de su elaboración se describe a continuación (Londres, 2016).

##### **a).- Materiales**

1 recipiente de plástico con cerradura a presión

1 tubo de cuatro pulgadas con tapón de 1.50 cm largo

1 tubo de tres pulgadas que va desde el tapón del tubo de entrada hasta 5 cm antes del fondo del recipiente (funciona como agitador)

1 Adaptador de una pulgada para la salida del afluente

1 Válvula de una pulgada para controlar la salida del afluente

1 conector de acero para la tubería del biogás

1 válvula de espera con rosca

1 Manguera para gas de 1.5 m

1 Llave de paso de PVC de ½ pulgada

1 adaptador en “t” para la manguera

Pegamento para PVC

Silicona transparente resistente a hongos

Cinta aislante

Abrazaderas para manguera

Materia orgánica

Recipiente para homogenización

Agua

(Tavizon, 2010).

**b).-Proceso**

1.- Perforación de la tapa, se realiza un orificio para la colocación de la válvula y otro mayor para el tapón sanitario (ver fig. 22) (Londres, 2016).



Figura 22. Perforaciones en la tapa del contenedor (Londres, 2016)

2.- Colocación de la válvula. La cual debe estar perfectamente sellada para evitar fugas de gas. Parte de esta válvula es la tubería completa que recapitulando consta de llave de paso y válvula de alivio (ver fig. 23) (Londres, 2016)



Figura 23. Instalación de la tubería de gas (Javr, 2014).

3.- Colocación del tapón sanitario pegándolo con pegamento para PVC. Como este tapón solo es para la entrada de la materia orgánica se debe prever un recipiente en el cual se mezcle y homogenice la materia orgánica (ver fig. 24 y 25) (Londres, 2016).



Figura 24. Sellado del tubo de carga (Londres, 2016).

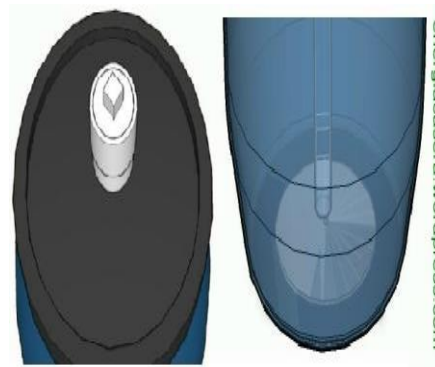


Figura 25. Agitador (Javr, 2014).

4.- Colocación del tubo al tapón sanitario. Este se coloca en la parte inferior del contenedor donde se obtiene el abono orgánico (ver fig. 26) (Londres, 2016).



Figura 26. Perforaciones para salida del efluente (Londres, 2016)

5.- Por último se coloca dentro la materia orgánica diluida para su fermentación y se sella el contenedor de manera hermética (ver fig. 27) (Londres, 2016).



Figura 27. Sellado del contenedor (Londres, 2016)

Una vez construido el prototipo es importante determinar el lugar donde se va a instalar y verificar que se tengan los parámetros necesarios para que se lleve a cabo la formación de biogás y abono orgánico. Cuando se requiere un biodigestor de uso industrial por lo general en la empresa que se compra facilitan el servicio de personal capacitado para su instalación recordando que este ya es más elaborado (Taringa, 2014).

## **CAPÍTULO 5.- BIOGAS.**

Antecedentes.

Los primeros registros sobre el conocimiento del biogás datan de los años 1600, cuando fue utilizado por los pueblos chinos y persas como generador de temperatura (Sergio, 2008).

1630 Jan Baptista Van Helmont. Identifica que la materia orgánica produce gases flamables.

1667 Shierley dice que los pantanos producen gases “fuegos fatuos”.

1682 R Boyles y Denis Popin, obtención de gas a partir de residuos animales y vegetales (Carrera, 2013).

En el año 1776 el científico italiano Volta descubrió que el principal compuesto del gas natural era metano (CONCYTEG, 2006).

En el siglo XVIII se detectó la presencia de gas metano en la descomposición del biogás y posteriormente en el siglo XIX experimentos aislados dirigidos por L. Pasteur demostraron la factibilidad de aprovechar la capacidad de combustión del metano con fines energéticos (Sayas, 2012).

En 1808 Humpry Dhabí produce gas metano en un laboratorio.

En 1887 el científico Hoppe-Seyler comprobó la formación de metano a partir de acetona, la misma observación hizo Omelianski en 1886 con excremento de vaca (Mon, 2010).

En 1888 Gayón obtuvo gas al mezclar guano y agua, a una temperatura de 35°C.

En 1906 Soehngen descubrió la formación de metano a partir de hidrógeno y dióxido de carbono. A su vez, describió los primeros dos organismos que participaban en la formación de metano (Carrera, 2013).

De los años 90 en adelante, una vez ya conocida la utilización del biogás, se viene una oleada de construcción de biodigestores en diferentes países siendo Nepal el que se distingue como mayor implementador de estos. Algunos otros países como China, Sudáfrica e India por cuestiones económicas tardan en expandir esta tecnología pero actualmente se sabe que cuentan con más de 30 millones en función (Carrera, 2013).

Al biogás se le designa este nombre por que proviene de la degradación de la materia orgánica, proceso biológico, el cual ocurre en la naturaleza de manera natural, por ejemplo en el rumen de los rumiantes, en el fondo de los pozos, en los basureros, entre otros. La materia orgánica al ser degradada por una amplia gama de bacterias, (capítulo 1) produce una mezcla de gases en la cual predomina el gas metano, que es primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero y la parte combustible de este compuesto, seguido del bióxido de carbono (ver fig. 28). Este combustible natural puede ser empleado como fuente de energía calórica o energía eléctrica (Nachwachsende, 2013).

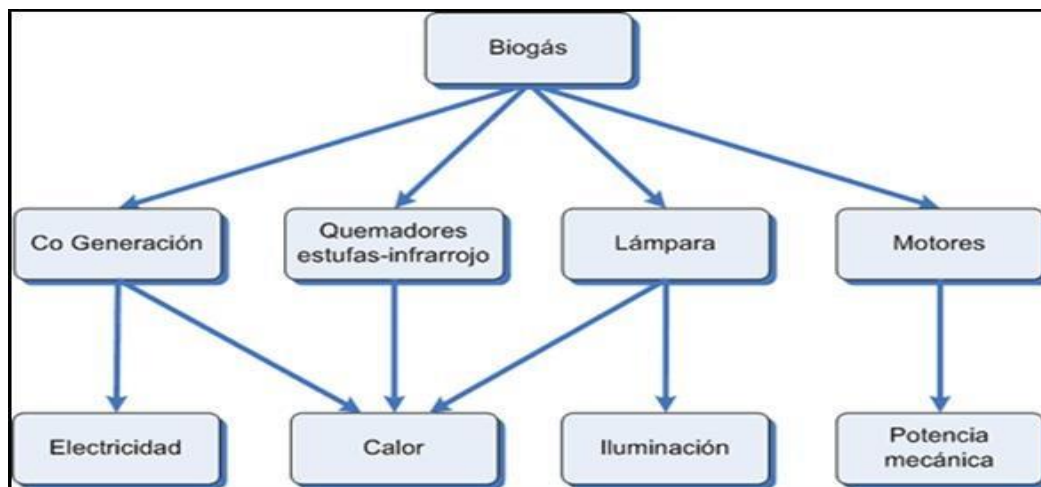


Figura 28. Uso del biogás (García, 2005).

La producción de biogás puede ser inhibida, por la presencia de altas concentraciones de metales pesados, antibióticos y detergentes. Ácidos grasos a más de 2,000 ppm para la fermentación mesofílica y 3,600 para la termofílica inhibiendo la digestión, las concentraciones elevadas de nitrógeno y amonio pueden matar las bacterias metano génicas (ver tabla 2) (Vernero, 2011).

Tabla 2. Inhibidores del biogás (Altercexa, 2010).

INHIBIDORES	CONCENTRACION INHIBIDORA
SO <sub>4</sub>	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (Según contenido de N <sub>2</sub> )	0,05 mg/ml
Cobre	100 mg/ml
Cromo	200 mg/ml
Níquel	200-500 mg/ml
CN	25 mg/ml
Detergente sintético	20-40 mg/ml
Sodio	3.500-5.500 mg/ml
Potasio	2.500-4.500 mg/ml
Calcio	2.500-4.500 mg/ml
Mg	1.000-1.500 mg/ml



### **5.1.- COMPONENTES DEL BIOGAS.**

Biogás es una mezcla de:

- Metano (CH<sub>4</sub>) 50 – 75 %- Vol.
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 25 – 50 %- Vol.
- Agua (H<sub>2</sub>O) 2 – 7 %- Vol.
- Ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) 20 – 20.000 p.p.m.
- Nitrógeno (N<sub>2</sub>) < 2 %- Vol.
- Hidrógeno (H<sub>2</sub>) < 1 %- Vol.
- Oxígeno (O<sub>2</sub>) < 1 %- Vol. (20)

(Campos, 2011).

### **5.2.- VALOR CALORICO.**

El biogás se genera bajo condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno), con temperatura entre 30 y 40 °C (mesofílico) y entre 50 y 60 °C (termofílico), durante un periodo determinado de retención hidráulica, es un poco más liviano que el aire y posee una temperatura de inflamación de 700°C, la temperatura de la llama alcanza 870°C, a su combustión genera un flama de color azul y su valor calórico es:

Poder calorífico = 5.500 kcal/m<sup>3</sup> (6,4 kWh/m<sup>3</sup>)

En comparación con el gas natural que es de:

Poder calorífico = 8.600 kcal/m<sup>3</sup>= 10 kWh/m

Esto quiere decir que:

1 m<sup>3</sup> de Biogás equivale a 0,64 m<sup>3</sup> de Gas Natural

### **5.3.- METANO.**

El metano en los últimos años ha sido aplicado con buenos resultados, como fuente energética alternativa en pequeña escala, generándolo a partir de residuos

orgánicos. Lo preocupante de este gas es que en estado libre es uno de los más potentes contaminantes, ocupando el segundo lugar y es 23 veces más capaz para atrapar el calor dentro de la atmosfera con el bióxido de carbono, creando el efecto invernadero. Algunos animales de granja emiten metano de dos formas diferentes, los rumiantes por ejemplo, durante su proceso natural de digestión crean metano (fermentación entérica) esto es causa de emisiones y la segunda es por medio del estiércol que esto lo hacen todas las especies (ver Tabla 3). La industria agrícola-ganadera, con su necesaria expansión, genera y libera este gas originado en la descomposición de la biomasa remanente y en el aumento de las poblaciones de ganado (rumiantes). Las industrias extractivas de carbón, petróleo y gas actúan como fuentes de liberación de metano a la atmósfera. Las estadísticas mundiales revelan que el gas metano ha duplicado su concentración en la atmosfera (Carmona, *et al.*; 205).

Tabla 3. Porcentaje metano en el excremento (Álvarez, 2010).

<b>Estiércol</b>	<b>Metano %</b>
Gallina	60
Cerdo	67
Bovino	55

Las principales fuentes productoras de metano son:

- La descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno
- El proceso digestivo de los rumiantes (bovinos)
- La combustión de desechos orgánicos
- La actividad microbiana en aguas servidas (cloacas)
- Determinadas acumulaciones de hidrocarburos tales como campos de petróleo, gas y carbón lo emiten espontáneamente (fugas)
- Estiércol y aguas negras de las granjas (Bonilla, *et al.*; 2012)

#### 5.4.- FACTORES DE LOS QUE DEPENDE LA PRODUCCION DE BIOGAS.

Naturaleza y composición bioquímica de materias primas: La principal materia prima en producción de metano es la de origen animal, las características bioquímicas que presenta esta materia debe permitir el desarrollo y la actividad microbiana en condiciones anaeróbicas, este proceso no solo requiere de nitrógeno y carbono, también requiere de un equilibrio de sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores) (ver tabla 4) (Vernero, 2011).

Este es el caso del estiércol y lodos cloacales. Los valores de producción y rendimiento de gas de las excretas presentan diferencias, esto debido a factores que intervienen en el proceso (Jacob, 2009).

Tabla 4. Nutrientes en las excretas (Vernero, 2011).

Excretas	C %	N %	P <sub>2</sub> O %	K <sub>2</sub> O %	CaO %	MgO %
Bovino	17,4-40,6	0,3-2,0	0,1-1,5	0,10	0,35	0,13
Porcino	17,4-46,0	1,1-2,5	0,4-4,6	0,30	0,09	0,10
Caprino	35,0-50,0	1,0-2,0	0,2-1,5	2,30		
Equino	35,0-52,0	0,3-0,8	0,4-1,6	0,35	0,15	0,12
Ovino	35,0-46,0	0,3-0,6	0,3-1,0	0,15	0,33	
Ave	28,0-35,0	1,4-2,0	2,0-2,8	1,40	0,80	0,48

El agua contenida en la materia prima varía entre 10 y 90% del peso fresco y depende de la edad, el órgano de residuo y su recolección. Los principales componentes que se distinguen son carbohidratos 50%, compuestos nitrogenados 20%, lignina 10 a 40% y el resto fracciones como cenizas, resinas, grasas. La composición promedio de la materia orgánica seca es: 48%C; 44%O; 7%H; 2%N. (ver tabla 5) (Vernero, 2011).

Tabla 5. Composición química del estiércol (Martínez, 1994).

	<b>Lípidos %</b>	<b>Proteínas %</b>	<b>Celulosa. Hemicelulosa %</b>	<b>Lignina %</b>	<b>Cenizas %</b>
Bovino	3,23	9,05	32,49	35,57	19, 66
Porcino	11,50	10,95	32,39	21,49	23,67
Aves	2,84	9,56	50,55	19,82	23,67
Equino	2,70	5,00	40,50	35,00	17,80
Ovino	6,30	3,75	32,00	32,00	25,95
Caprino	2,90	4,70	34,00	33,00	26,40

La producción de biogás depende en gran medida de la composición bioquímica de la materia prima (ver Tabla 6).

Tabla 6. Producción de biogás (Vernero, 2011).

<b>Estiércol</b>	<b>Disponibilidad kg/día*</b>	<b>Relación C/N</b>	<b>Volumen de Biogás</b>	
			<b>m<sup>3</sup>/kg húmedo</b>	<b>m<sup>3</sup>/día/año</b>
Bovino(500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovinos (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.75
Caprinos (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (45 kg)	10.00	50:1	0.04	0.04

Relación carbono/nitrógeno de las materias primas. Toda la materia orgánica tiene la capacidad de producir biogás, pero la cantidad y calidad dependerá de la composición y naturaleza del residuo utilizado. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias. El carbono constituye la

fuelle de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células (Gutiérrez, *et al.*, 2012).

Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación de estos dos elementos se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1 (ver Tabla 7), si la relación supera 35:1 la descomposición es más lenta, a causa del bajo desarrollo de bacterias, por falta de nitrógeno, a una relación menor como 8:1 incrementa el amonio y se inhibe la actividad de las bacterias, de acuerdo a esto se desarrolla la siguiente fórmula:

$$K = \frac{C1*Q1 + C2*Q2 + \dots + Cn*Qn}{N1*Q1 + N2*Q2 + \dots + Nn*Qn}$$

K = C/N de la mezcla de materias primas

C = % de carbono orgánico contenido en cada materia prima

N = % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima

Q = Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas

Desde el punto de vista práctico es aconsejable manejarse con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V) a partir de la fórmula:

D = M/V, expresando la masa en kilos o toneladas y el volumen en litros o metros cúbicos (Vernero, 2011).

Tabla 7. Relación carbono nitrógeno de residuos animales (Romero, 2013).

Materiales	C %	N %	C/N
Residuos animales			
Bovino	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Gallinas	35	1.50	23.1

Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles. La materia orgánica está compuesta de agua y una fracción de sólidos totales, la movilidad de las bacterias metanogénicas depende de la concentración de estos sólidos, un biodigestor semi-continuo no debe tener más de un 8 a 12% de sólidos y un discontinuo de 40 a 60% (Vernero, 2011).

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca (ver Tabla 8).

Tabla 8. Sólidos totales en residuos animales (Vernero, 2011)

Materia prima	% de Sólidos totales
Residuos animales	
Bovino	13.4-56.2
Porcino	15.0-49.0
Aves	26.0-92.0
Caprino	83.0-92.0
Ovino	32.0-45
Equino	19.0-42.9

Temperatura. De este depende la velocidad de reacción con que se lleva a cabo cualquier proceso biológico, la composición del biogás debido a la dependencia de solubilidad de los diferentes gases con la temperatura, si esta se incrementa hay mayor producción de biogás (Acosta, *et al.*; 2005) Hay tres rangos en los que pueden trabajar los microorganismos psicrófilo por debajo de 25°C, mesófilos entre 25 y 45°C y termófilos entre 45 y 65°C (ver tabla 9) (Vernero, 2011).

Tabla 9. Rango de temperatura y tiempo de fermentación anaerobia (Besel, 2007)

Fermentación	Mínimo	Optimo	Máximo	Tiempo de Fermentación
Psycrophilica	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20°C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica. La relación que existe es que a medida en que se incremente el volumen de carga menor será el tiempo de retención (Gutiérrez, *et al.*; 2012). Esto es igual a:

Volumen del digestor (m<sup>3</sup>) = Volumen de carga diaria m<sup>3</sup>/día

Tiempo de retención (días)

Rangos de pH y alcalinidad. Cuanto hay variaciones en el pH se afectan microorganismos metanogénicos que son más susceptibles. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal. Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición, a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y por tanto, tiene menores cualidades energéticas (Gutiérrez, *et al.*; 2012).

En los procesos anaeróbicos, la caída del pH es causada frecuentemente por la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) y por la excesiva acumulación de dióxido de carbono, para resolver el problema se tiene que reducir la tasa de carga orgánica volumétrica, hasta el punto en el cual los AGV se consuman más rápido de lo que se generan. Una vez que el exceso de AGV se ha agotado, el pH del sistema retorna a los rangos de operación normales y la metanogénesis comienza a repuntar (Acosta, *et al.*; 2005).

Potencial redox. Para crecimiento de los anaeróbios obligados el valor del potencial redox se debe mantener entre -220 mV a -350 mV a pH 7.0 de manera que se asegure el ambiente fuertemente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad. Cuando se cultivan bacterias metanogénicas, se incorporan agentes reductores fuertes tales como sulfuro, cisteína o titanio III para ajustar el medio a un potencial redox adecuado (Vernero, 2011).



## **5.5.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS.**

### **Ventajas:**

Disminución de la contaminación de la atmosfera por los gases de efecto invernadero

Disminución de la contaminación de los suelos y el agua

Desarrollo sustentable a través de energías limpias y renovables

Devolver a la naturaleza parte de lo que tomamos de ella

Garantizar la producción de energía para las generaciones futuras

El aprovechamiento de su producto secundario, el abono orgánico

Evita problemas de sanidad eliminando malos olores, insectos y la utilización de agroquímicos

En las zonas rurales evita la tala de árboles para el uso de leña (Guerrero, 2016).

### **Desventajas:**

La ubicación debe estar cerca de donde se encuentra la materia orgánica

El biogás dentro de su composición tiene un subproducto, sulfuro de hidrogeno que es un gas toxico para el ser humano y es corrosivo

Existen riesgos de explosión cuando no se cumplen las normas de seguridad (Guerrero, 2016).

## **CAPITULO 6.- SUBPRODUCTOS DEL BIODIGESTOR.**

El residuo final del biodigestor ofrece una solución, a la terminación del uso de agroquímicos con los cuales se está dañando los suelos de cultivo. No es nuevo el uso de abonos orgánico, desde la antigüedad se usaba el excremento de animales como abono, con la finalidad de nutrir los suelos y mejorar la calidad de la cosecha. El uso de agroquímicos está terminando los niveles de materia orgánica y desbalance nutricional, en los campos de cultivo con el paso del tiempo los campos serán estériles (SAGARPA, 2016).

De acuerdo con las proyecciones del banco mundial, la población mundial aumentará de seis mil millones de personas en 1999 a siete mil millones en el 2020, todas estas personas querrán cubrir sus necesidades básicas, de entre las cuales está la alimentación y que pasará si para entonces la mayor parte de los suelos se encuentran estériles (FAO, 1999).

### **6.1.- ABONO ORGANICO.**

Es una masa o sustancia acuosa de color pardo-oscuro, relativamente estable dado que sufrió una degradación anaeróbica y con buen poder fertilizante, después de salir del biodigestor este material ya no huele y no atrae insectos una vez utilizado en los suelos, es una fuente de fitorreguladores que ayudan a las plantas a tener un óptimo desarrollo, generando mayor productividad a los cultivos esto a su aporte de minerales, especialmente nitrógeno (Sistema Biobolsa, 2016)

Subproducto que queda después de la generación de biogás, en función a la carga usada y el proceso seguido, esta materia orgánica también conocida como bioabono, puede presentarse de dos formas, líquida: proveniente de digestores continuos y abono contenido de sólidos totales inferior al 12%, su estado físico dificulta su venta y sólida: Proviene de biodigestores semi-continuos con un

excelente poder fertilizante y después de secarse se comercializa sin problemas (Borrero, 2016).

En general cualquiera de las dos presentaciones es un buen restablecedor de los suelos, porque aporta niveles altos de materia orgánica estabilizada. Presentan una textura física particular, de baja densidad y baja resistencia mecánica, incrementa la capacidad de retención de agua así como el intercambio gaseoso (SAGARPA, 2016).

### **6.1. 1.- COMPOSICION DEL ABONO.**

El abono orgánico se encuentra compuesto por: Materia seca, Nitrógeno. Fósforo, Calcio, Potasio, Magnesio, Sodio, Azufre, Carbono, Aluminio, Cobre, Zinc; y su porcentaje de abono depende de la materia prima que abasteció al biodigestor. Como ejemplo (ver Tabla, 10) estiércol de bovino (Aparcana, 2008),

Tabla 10. Componentes del abono orgánico de bovino (Aparcana, 2008).

<b>Componente</b>	<b>Estiércol</b>
pH	6.7-7.9
Materia seca	1.4%
Nitrógeno total	0.9g/kg
NH <sub>4</sub>	No menciona
Fosforo	0.048mg/kg
Potasio	0.29mg/kg
Calcio	2.1 g/kg
Magnesio	0.135%
Sodio	No menciona
Azufre	0.33mg/l
Carbono	0.23-0.30
Aluminio	No menciona

Boro	No menciona
Zinc	0.05mg/l

### 6.1.2.- EFECTOS DEL ABONO ORGANICO EN EL SUELO.

Los efectos favorables que los abonos orgánicos proporcionan al suelo, los hacen necesarios e incluso se puede decir imprescindibles en el uso y manejo de este recurso para mejorar y mantener su componente orgánico, sus características de una entidad viviente, su fertilidad física, química y biológica y finalmente su productividad (Besel, 2007).

#### A) FÍSICOS:

- Estructura
- Porosidad
- Aireación
- Capacidad de retención de aguas
- Infiltración
- Conductibilidad hidráulica
- Estabilidad de agregados (SAGARPA, 2016).

#### B) QUÍMICOS:

- Aumenta la concentración de nitrógeno total
- Capacidad de intercambio de cationes
- pH
- Concentración de sales (SAGARPA, 2016).

#### C) BIOLÓGICOS:

- Incremento de la fertilidad (cultivos rentables)
- Medio biológicamente activo
- Oxidación y reducción (Besel, 2007).

## **LÍMITE DE ESPACIO**

El presente trabajo se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia ubicada en carretera Toluca-Tlachaloya Km. 10, el Cerrillo Piedras Blancas, México, C.P. 50090.

### **LÍMITE DE TIEMPO**

El presente trabajo se realizó conforme a lo descrito en el siguiente cuadro:

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>FECHA</b>
Inicio de investigación	JUNIO 2016
Investigación bibliográfica	JULIO 2016
Inicio de elaboración de protocolo	JULIO 2016
Registro de protocolo	AGOSTO 2016
Documentación del trabajo escrito	AGOSTO 2016
Conclusión del trabajo	SEPTIEMBRE 2016

## **CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS**

El presente trabajo pretende concientizar y aportar información sobre una alternativa de solución a la disminución de los problemas ambientales tan alarmantes que están presentes en la actualidad, no solo en México sino en el mundo entero.

Denotar que hay tecnología benéfica, tal es el caso del uso de los biodigestores que permiten evitar la contaminación, producto de los desechos orgánicos, empleándolos para dar como resultado un aporte de energías limpias y renovables, y a su vez mejora el nivel socio-económico de la población.

Es importante tomar en cuenta que los Médicos Veterinarios Zootecnistas, Empresarios, Productores, Granjeros, etc. que se dedican a la producción pecuaria siempre han tomado en cuenta los parámetros de producción y calidad que finalmente se traducen en competitividad y mejoras económicas, pero pocas veces se ha considerado el uso excesivo que se hace de los recursos naturales y lejos de hacer sostenibles los procesos, afectamos contaminando la atmosfera, degradando los suelos y contaminando las aguas. Es cierto que la naturaleza es muy noble pero todo tiene un costo y la pregunta es que pasara con las generaciones futuras. De continuar con estos sistemas de producción.

Esta tecnología además de ofrecer combustible a bajo costo, facilita un abono orgánico rico en nutrientes, tales como Nitrógeno, Potasio, Fosforo, Azufre, entre otros, el cual tiene efectos favorables en su aplicación en los suelos de cultivo, que incrementa la retención de agua así como intercambio gaseoso.

## **LITERATURA REVISADA**

Acosta L, Obaya Y, Abreu M. C. (2005). La digestión anaerobia aspectos, sobre los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA. Vol. XXXIX. Núm.1.

Adim. 2016. “¿Qué son los biodigestores y para qué sirven? [Página en línea], [consulta 2 de Junio de 2016], disponible en internet: <https://www.google.com.mx/url>.

Altercexa (2010). Informe completo sobre el estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás. [Página en línea], [consulta 25 de Mayo de 2016], disponible en: <Http://altercexa.eu>

Álvarez J. M, Moyano C. C. L. (2010).”Biomasa y Biogás” [página en línea], [consulta 25 de Mayo de 2016], disponible en: <http://scietech.au.dk.biogas>.

Andrés Daniel Apolo Yagual. (2015). “Diseño construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio prototipo de bajo costo” Universidad de San Francisco de quito. (Tesis) Ingeniero Mecánico.

Aparcana R. S. (2008). “Estudios sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación anaerobia para producción de biogás”. [Página en línea], [consulta 22 de Mayo de 2016], disponible en internet: [www.german-profec.com/.../Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20](http://www.german-profec.com/.../Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20).

Arce C. J. J. (2011). “Diseño de un biodigestor, para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrícolas del Litoral”. Tesis de Ingeniero industrial. Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.



Ávila S. E. (2009). Biogás. Opción real de seguridad energética para México. M en C. en Administración planeación y economía de los hidrocarburos. Tesis de Maestro en Ciencias en Administración, Planeación y Economía de los Hidrocarburos. Instituto Politécnico Nacional. México D. F.

Ávila, S. E. (20/8/2016) Periódico Energía a debate. “Aprovechar Residuos para Generar Energía” Publicado por Layerlin, publicación: jueves 4 de agosto del 2016.

Besel, S. A. (2007). “Biomasa Cultivos energéticos”. IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Fondo Editorial. Madrid.

Besel, S. A. (2007). “Biomasa Digestores Anaerobios”, IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Fondo Editorial. Madrid.

Biodisol. (2013). Energías renovables energías limpias, Bioenergías. [Página en línea], [consulta 8 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://www.biodisol.com/cultivos-energeticos>.

BIOMAX. (2008). “Instalaciones Porcinas Biodigestores” Universo Porcino. [Página en línea], [consulta 2 de Junio de 2016], disponible en internet: [www.producción-animal.com.ar](http://www.producción-animal.com.ar).

Blanco E. (2015). Curso Bioquímica de los seres vivos. [Página en línea], [consulta 12 de Mayo de 2016], disponible en internet [ip.org/recursos.aula/B102.Nbat/Metabolisme/Fermentacio.pdf](http://ip.org/recursos.aula/B102.Nbat/Metabolisme/Fermentacio.pdf).

Bonilla C. J. A. Lemus F. C. (2012). Emisiones de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revista Scielo. Vol. 3 Núm. 2.

Campos C. B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 20. Núm. 2.

Carmona C. J, Bolívar M. D, Giraldo L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Ciencia Pec, Vol. 18. Núm. 1.

Carrera R. C. (2013). “Antecedentes históricos de la obtención de biogás” [página en línea], [consulta 12 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://escribu.com/doc/126448253/antecedentes-historicos-de-la-produccion-de-biogas>.

Castillo A. (2011). Biodigestor de Flujo continuo en Uruguay [página en línea], [consulta 10 de Junio de 2016], disponible en internet: [biodigestoresflujocontinuouruguay.blogspot.com/](http://biodigestoresflujocontinuouruguay.blogspot.com/)

CEDAPAP. (2007). “Biodigestor de polietileno construcción y diseño” [página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/11-polietileno.pdf>.

Cendales L.D.E, Jiménez C. S. A. (2014). Modelamiento computacional de la producción de energía renovable a partir del biogás mediante la cogestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino. Revista Scielo. Núm. 77.

Civilgeeks. (2015). "Los biodigestores importancia y beneficios" [Página en línea], [consulta 2 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://civilgeeks.com/2015/05/27/los-biodigestores-importancia-y-beneficios>.

Cofupro. (2013). "Producción de biogás, Energía Eléctrica y Fertilizantes a partir de Nopal. México D.F. [Página en línea], [consulta 2 de Junio de 2016], disponible en internet: [http://www.cofupro.org.mx/cofupro/cofupro\\_web.php?idseccion=1910](http://www.cofupro.org.mx/cofupro/cofupro_web.php?idseccion=1910).

CONCYTEG. (2006). "Biogás y Biometanación" [página en línea], [consulta 12 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://concytec.gob.mx>.

CONCYTEG. (2006). "Biogás y Biometanación". [página en línea], [consulta 26 de Mayo de 2016], disponible en internet [http://cocyteg.gob.mx/ideas Cocyteg/Archivos/02052006\\_BIOGAS.BIOMETANACION.pdf](http://cocyteg.gob.mx/ideas/Cocyteg/Archivos/02052006_BIOGAS.BIOMETANACION.pdf).

Dagoberto Elizondo. (2006). "Una alternativa de innovación socio-económica." [Página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016], disponible en internet: [www.bibliotecaunan.edu.ni:9090/bases/trucfa/pdf./8007.pdf](http://www.bibliotecaunan.edu.ni:9090/bases/trucfa/pdf./8007.pdf).

Delgado A. M. M.; Miralles I. H. R.; Martínez S. J. V.; León O.C.; García G. M.C. (2007). "Evaluación de Residuos Orgánicos de origen Animal procedentes de Granjas Avícolas" Ingeniería de recursos Naturales y ambientales. Redalyc. Sistema de Información científica" Núm. 6.

Díaz, B. B. (2013). "Diseño y construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya. Tesis de Ingeniería Ambiental. Escuela de caminos. Barcelona.

Dinámica en soluciones. (2015). “Medidas y capacidades de Tanque industriales. [Página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016], disponible en internet: [blog.distribuidornacional.com/2015/04/medidasycapacidades-de-tanques.html](http://blog.distribuidornacional.com/2015/04/medidasycapacidades-de-tanques.html).

Ecosiembra. (2014). “Alternativa Ecológica” [Página en línea], [consulta 2 de Junio de 2016], disponible en internet: [http://ecosiembra.blogspot.mx/2014\\_10\\_01\\_archive.html](http://ecosiembra.blogspot.mx/2014_10_01_archive.html).

FAO (2006) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura. “Portal de Suelos”. [Página en línea], [consulta 5 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://www.fao.org>.

Forget, A. (2011). “Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares con enfoque en biodigestores tubulares. Lima. [Página en línea], [consulta 5 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://www.astrid.forget.com/wp-content/uploads/2015/=1/Manual-tecnico-y-difusion-AF-biodigestores>.

García, G. E. (2005). Análisis técnico-económico de proyectos de generación eléctrica a partir de energías renovables: El caso de minihidroeléctricas y biomasa tesis de Ingeniera Eléctrica Electrónica. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.

Gómez, M. S. (2012). “Diseño y contribución y puesta a punto de un Biodigestor proyecto” [página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016], disponible en internet: [e-archivo.uc3m.es](http://e-archivo.uc3m.es) › Trabajos académicos › Proyectos Fin de Carrera

González, M. J. M.; Duque, D. C. A.; Galeano, C. A. H. (2007). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. Ingeniería e investigación, vol. 27. Núm. 3.

Green Peace. (2009). “La destrucción de México la realidad ambiental del país y el cambio climático”. [Página en línea], [consulta 5 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://www.greenpeace.org>.

Gropelli, E.; Grampaoli O. (2001). “El camino de la biodigestión. Ambiente y tecnología socialmente apropiada”, Ediciones Universidad Nacional del Litoral-PROTEGER.

Guerrero, L. (2016). ¿Qué es un biodigestor ?. [Página en línea], [consulta 5 de Junio de 2016], disponible en internet: [vidaverde.about.com](http://vidaverde.about.com) › Energías renovables.

Gutenberg. (2012). Calentamiento global. [Página en línea], [consulta 9 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://es.slideshare.net/gutenbergschule/calentamiento-global-1-13173023>.

Gutiérrez, G. G. J.; Mondaca, F. I.; Maza, M. M. M.; Félix, F. A.; Balderas, C. J. J.; Cortares, M. P. (2012). “Biogás Una alternativa ecológica para la producción de energía. Revista CONCYTEG. Vol. 7. Num 85.

Hernández, G. (2010). “Biodigestor portátil Ecosistemas”. [Página en línea], [consulta 7 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://www.youtube.com/watch?v=qpHK6KBONY>.

Herrero, M. A.; Gil. S. B. (2008). “Consideraciones Ambientales de la intensificación en producción animal. Ecol. Austral. Revista scielo. Vol.18 Núm. 3.

Huerga I.; Butti, M. Venturelli. (2014). Biodigestores de pequeña escala. Un análisis practico sobre tu factibilidad Ediciones INTA.

InfoAgro. (2016). Curso de Biodigestores. “Diseño del biodigestor y producción de electricidad” [página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016], disponible en internet: [www.infoagro.go.cr/inforegiones/regioncentraloriental.InfoAgro, 2016](http://www.infoagro.go.cr/inforegiones/regioncentraloriental.InfoAgro, 2016).

Jacob, P. J. (2009). “Biogás Green Energy [página en línea], [consulta 5 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://scietech.au.dk.biogas>.

Javr. (2014). “Energía casera” [página en línea], [consulta 20 de Mayo de 2016], disponible en internet: <http://energiacasera.wordpress.com>.

Laines, C. J. R.; Sosa, O. J. A. (2013). Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás en un biodigestor tipo cúpula. Ingeniería. Vol. 17. Núm. 1.

Machorro, J.M.; Eddy M. (2011). Manual Técnico. La Experiencia de Construcción y Uso de un Biodigestor para Producción Energética en Copan y Lempira. Comision de Acción Social Menonita (CASM).

Martí, H. J. (2008). Guía de Diseño Manual de Instalación de Biodigestores familiares. [Página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016], disponible en internet: [http:// www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca//obi\\_arch.pdf](http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca//obi_arch.pdf).

Martí, O. N. (2002). Phosphorus precipitation in anaerobic. Digestion Process. Dessertation. Vol. 53. Núm. 2.

Martínez, C. C. (2016). “Volumen de Biodigestores Empresa Eléctrica de Bahía Honda. Pinar del Rio”. [Página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016],

disponible en internet: [http:// www.cubasol.cu./biblioteca/energia.Energia39/htm./articulo04.htm](http://www.cubasol.cu./biblioteca/energia.Energia39/htm./articulo04.htm).

Martínez, C. C. (2016) “Volumen de biodigestores” [página en línea], [consulta 25 de Mayo de 2016], disponible en internet:[www.imbmobusa.com/sistebui/dercontent/...instalación-del-biodigestor.pdf](http://www.imbmobusa.com/sistebui/dercontent/...instalación-del-biodigestor.pdf).

Martínez, I. I. (1994). “El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente”. [Página en línea], [consulta 22 de Mayo de 2016], disponible en internet: [www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1994\\_01.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf).

Maugard, J. (2015). Biomasa. Utilizando Materia Orgánica para crear energía. Energía. [Página en línea], [consulta 22 de Mayo de 2016], disponible en internet <http://www.energia-info.es/2015/10/20/biomasa-materia-organica>.

Mendoza, M. (2003). Manejo de desechos de granjas pecuarias” Revista InfoAgro. Industrial del campo de México. D.F.

Mon, O. A. (2010). “Estudio para el aprovechamiento del biogás como fuente de energía renovable para la generación de electricidad en una granja. Xalapa, Ver”. Tesis de Ingeniero Mecánico Eléctrico. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.

Moreno, C. C. F. (2010). Digestión Anaerobia, de los lodos residuales, secundarios en reactores en lote y continuó. Tesis de Maestro en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.

Nachwachsende, R. F. (2013). Guía sobre el biogás desde la producción hasta el uso. Vol. 2°. Editorial FNR.

Navarro, J. (2008). “Cambio Climático Protocolo de Kyoto”. [Página en línea], [consulta 6 de Junio de 2016], disponible en internet: [http:// Cambio Climático. Org.](http://CambioClimatico.Org)

OPEX. (2006). Energía Operación y Mantenimiento [página en línea], [consulta 25 de Mayo de 2016], disponible en internet: [http://www.opex-energy/.com.2006 Madrid/biomasa/](http://www.opex-energy/.com.2006Madrid/biomasa/).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), (2006). “Enfoques Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor”.

Osorio, S.; Jairo, A.; Velásquez, C.; González, S. H. J, Hugo. (2007). Evaluación de un Sistema de Biodigestor en Serie para Clima Frio. Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín. Vol. 60. Núm. 2.

Pachamama. (2010). “Finca Sana”. [Página en línea], [consulta 10 de Junio de 2016], disponible en internet: [http:// productos-pachamama.blogspot.mx](http://productos-pachamama.blogspot.mx).

Pascua, F. J. B. (2011). Rediseño y Ensayo de un biodigestor en la granja Experimental de la Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis de Ingeniero. Mecánico. Agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo. México, 2011.

Pinos, J.M.; Rodríguez, J. C.; García, L. L. Y.; Peña, A.; Redon, H. J. A.; González, G. C.; Tristan P. F. (2012). “Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por sistemas ganaderos de algunos países de América. AGROCIENCIA. Vol. 46 Núm. 4.



PROSAP (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales). (2009). "Biodigestores y Biogás en la actividad rural", [página en línea], [consulta 25 de Mayo de 2016], disponible en internet: [www.Prosap.gor.ar/docs/biodigestores.pdf](http://www.Prosap.gor.ar/docs/biodigestores.pdf).

PROSAP (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales). (2009). "Biodigestores y Biogás en la actividad rural", [página en línea], [consulta 25 de Mayo de 2016], disponible en internet: [www.Prosap.gor.ar/docs/biodigestores.pdf](http://www.Prosap.gor.ar/docs/biodigestores.pdf).

Romero, P.; Martínez, M. M.; Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Publicado por FAO. Santiago de Chile.

Rotoplas. (2015). "Medidas y capacidades del Biodigestor rotoplas. [Página en línea], [consulta 10 de Junio de 2016], disponible en internet: [blog.distribuidornacional.com/2015/04/medidas-y-capacidades-del-biodigestor](http://blog.distribuidornacional.com/2015/04/medidas-y-capacidades-del-biodigestor).

SAGARPA, (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo rural, Pesca y Alimentación). (2009). "Diagnostico de la situación actual de los sistemas de biodigestion en México. [Página en línea], [consulta 5 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://ecotec.unam.mx>.

SAGARPA. (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo rural, Pesca y Alimentación). (2014). Programas Curso Fortalecimiento Institucional Sistema de Biodigestion. [Página en línea], [consulta 15 de Junio de 2016], disponible en internet: [www.proyectodeenergiarenovable.com](http://www.proyectodeenergiarenovable.com).

Sayas, P.; Fernández, F. A.; Yampara, C. L.; Chávez, B. J.; Molina, M. (2012). "Biodigestores una Alternativa tecnológica para el futuro" Universidad Agraria la Molina. [Página en línea], [consulta 22 de Mayo de 2016], disponible en internet: <http://bio-digestores.blogspot.mx/2012/06/perfil.html>.

SAYDS. Secretaria de Ambiente y desarrollo, sustentable. (2008). 2ª comunicación nacional de la república Argentina a la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Revista Scielo. Vol. 18. Núm. 3.

Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMANART. (2010). “Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México. [Página en línea], [consulta 5 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://biblioteca.semanart.gob.mx>.

Sep. CONACYT (2002). “Biotecnología Moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI retos y oportunidades “Librería: Fondo de Cultura. México. D.F.

Sergio. (2008). “Historia del biogás” [página en línea], [consulta 12 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://porcinos.blogspot.mx/2006/01/historia-de-el-biogas>.

LONDRES (Seudónimo de los Autores). (2016). “Biodigestor: Energía Alternativa” [página en línea], [consulta 20 de Mayo de 2016], disponible en internet: [www.feriadelasciencias.unam.mx/...4\\_01biodigestor](http://www.feriadelasciencias.unam.mx/...4_01biodigestor).

Silva, V. J. P. (2011). “Tecnología del Biogás” [página en línea], [consulta 6 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaer/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>.

Taringa, J.P. (2014). “Biodigestores caseros” [página en línea], [consulta 8 de Junio de 2016], disponible en internet: [www.taringa.net/ecologia](http://www.taringa.net/ecologia).

Tavizon, A. E. P. (2010). Diseño de un biodigestor para desechos orgánicos de origen vegetal. Tesis de Maestría en Educación Científica. Centro de Investigación de Tecnología Avanzada. Ciudad Juárez Chihuahua.

UNAC. (Universidad Analítica Constructiva de México). (2005). “Respiración anaerobia.” [Página en línea], [consulta 2 de Mayo de 2016], disponible en internet [www.unac.edu.p/documentos/organizacion.pdf](http://www.unac.edu.p/documentos/organizacion.pdf).

Varnero, M. M. T. (2011). “Manual de Biogás”, Santiago de Chile. Editado por: MINENERGIA (Ministerio de energía), PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), GEF (Global Environment Facility).

Vasker, T.M. (2009). “Energías Alternativas.” [Página en línea], [consulta 2 de Junio de 2016], disponible en internet: <http://universocampo.com./tema.php?idtema=13798>. Buenos Aires. Argentina.

Vera, R. I.; Martínez, R. J.; Estrada, J. M.; Ortiz, S. A. (2014). Potencial de biogás y energía eléctrica, excretas de ganado porcino y bovino. Ingeniería, Investigación y Tecnología, Vol. Xv, Núm. 3.

Villa, V. V. (2009). “Energía Biomasa” [página en línea], [consulta 12 de Mayo de 2016], disponible en internet: [es. Slideshare.net/Victoriavv/energia-biomasa-2624540](http://es.slideshare.net/Victoriavv/energia-biomasa-2624540).

Wang, C.; Zhang, Y.; Zhang, L.; Pang, M. (2016). Alternativa policies to subsidize rural house hold biogas digesters. Energy Policy. Vol. 93. Núm. 187-195.

Xipe y Asociados. S. C. (2013). "Talleres de construcción de un biodigestor" [página en línea], [consulta 22 de Mayo de 2016], disponible en internet: <http://biodigestor.bou.mx/2013/05/25/biodigestor>.