

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA



**DESARROLLO DE UN BIODIGESTOR CASERO COMO ALTERNATIVA PARA
GENERACIÓN DE BIOGÁS EMPLEANDO ESTIÉRCOL BOVINO.**

POR:

ALFREDO CRUZ RUIZ

TESIS

**PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO EN PROCESO
AMBIENTALES**

TORREÓN COAHUILA

ENERO DE 2014

**“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**“Desarrollo de un biodigestor casero como alternativa para
generación de biogás empleando estiércol bovino”
TESÍS QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**POR:
ALFREDO CRUZ RUIZ**

APROBADA POR EL H. CUERPO DE ASESORES

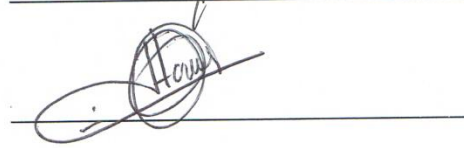
**ING. JOEL LIMONES AVITIA
ASESOR PRINCIPAL**



**MC. NORMA L. ORTIZ GUERRERO
ASESOR**



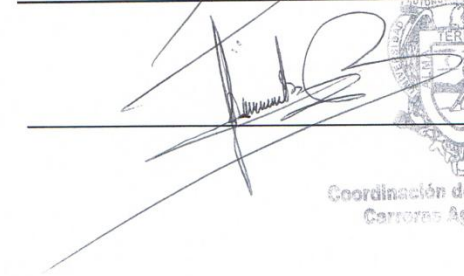
**MC. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR
ASESOR**



**DR. ALFREDO OGAZ
ASESOR SUPLENTE**



**DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**





**Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas**


TORREÓN, COAHUILA

ENERO DE 2014

TESÍS QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADO POR:

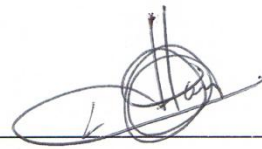
ING. JOEL LIMONES AVITIA
PRESIDENTE DEL JURADO



MC. NORMA LETICIA ORTIZ GUERRERO
VOCAL



MC. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR
VOCAL



DR. ALFREDO OGAZ
VOCAL SUPLENTE



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS





Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

ENERO DE 2014

DEDICATORIA.

A mis padres: Jorge Cruz y Adela Ruiz, que me brindaron el apoyo incondicional en todos los aspectos y por el esfuerzo que hicieron para poder concluir una etapa más de mi vida. Por darme una segunda oportunidad de seguir estudiando y por la confianza depositada en mí.

A mi hermano. Aldo Cruz Ruiz: por ser nuestro ángel de la guarda que cuida a la familia, y sobre todo darnos la fuerza para salir adelante.

A mi esposa: Jazmín Tapia Sánchez: por brindarme apoyo incondicional en las buenas y en las malas, por esas palabras de aliento que me hicieron más fuerte en los peores momentos de mi vida, que compartió este recorriendo conmigo y por la valentía que tuvo al estar tan lejos en la soledad, por todos aquellos momentos que no pasamos juntos. Y sobre todo por darme el regalo más grande de ser papa de una gran niña que va a llenar me de felicidad.

A mis hermanos Jorge Luis Cruz Ruiz, BritzianLisset Cruz Ruiz, Milton Jesús Cruz Ruiz: por el apoyo moral e incondicional que me han brindado. Que fueron uno de mis inspiraciones para lograr una de mis metas.

A mis abuelos: que han sido mis segundos padres, que me enseñaron a valorar las cosas y sobre toda la humildad, y el sacrificio de mis padres han hecho por mí.

A mis compañeros de casa Eligio, Walbert, Marvey, Chucho, que son como mi segunda familia, que con ellos compartí experiencias inolvidables, que hacían que los días tristes se convirtieran en toda una noche de risas y alegrías.

A mis compañeros de generación, por haberme permitido ser su compañero y aprender cosas diferentes de cada uno de ellos, por los momentos buenos que pasamos como grupo

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS por darme la oportunidad de cumplir una de mis metas profesionales.

A mi ALMA TERRA MATER:

Por abrirme las puertas y brindarme la facilidad para la obtención de conocimientos nuevos para mi formación profesional.

A mi asesor principal:

A el **ING. JOEL AVITIA LIMONES** por su empeño y dedicación en realizar este proyecto para obtener mi título profesional.

A todos los profesores de los distintos departamentos que compartieron sus conocimientos durante mi estancia en la universidad.

A mis compañeros que me brindaron el apoyo para la realización de este proyecto **(Eligio Cruz, Walbert Magadan, Jesús Nicolás).**

ÍNDICE

RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivo específico	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.	4
3.1. EL METANO.....	4
3.2. LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	6
3.3. TIPOS DE BIOMASA.....	7
3.3.1. Biomasa primaria.....	7
3.3.2. Biomasa secundaria.....	7
3.3.3. Biomasa terciaria.....	7
3.3.4. Biomasa natural.....	7
3.3.5. Biomasa residual.....	7
3.3.6. Cultivos energéticos.....	7
3.4. RESIDUOS ORGÁNICOS.	8
3.5. DIGESTIÓN ANAEROBIA.	9
3.5.1. Ventajas.....	11
3.6. ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	12
3.6.1. Hidrólisis.....	12
3.6.2. Fermentación o Acidogenesis	13
3.6.3. Acetogénesis.....	14
3.6.4. Metanogénesis.....	15
3.7. FACTORES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	16
3.7.1. Temperatura.....	16
3.7.2. pH y Alcalinidad.....	17
3.7.3. Nutrientes.....	18
3.7.4. Toxicidad.....	18
3.7.5. Tiempo de retención de carga.....	18
3.8. MICROORGANISMOS PRESENTES EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	19

3.9.	BIODIGESTORES.....	19
3.10.	TIPOS DE BIODIGESTORES.....	20
3.10.1.	Digestortubular debajo costo.....	20
3.10.2.	De alimentación continua.....	22
3.10.3.	Digestor tipo plugflow.....	23
3.10.4.	De tapón de flujo.....	23
3.10.5.	Batch o Discontinuo.....	24
3.11.	SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL GAS.....	25
3.12.	EL BIOGÁS.....	26
3.13.	BENEFICIOS DEL BIOGÁS.....	27
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
4.1.	Metodología.....	29
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
5.1.	Calculo del volumen del biodigestor.....	30
5.2.	Volumen de la biomasa.....	30
5.3.	Volumen de biogás producido diariamente.....	31
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
6.1.	Conclusiones.....	35
6.2.	RECOMENDACIONES.....	36
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	37

RESUMEN

Las excretas de ganado bovino, hasta hace poco tiempo, se consideran como un desecho sin utilidad, además de ser un generador de contaminación por los malos olores que se desprendían de este residuo. En años reciente este desecho orgánico agroindustrial pasa a ser un alto potencial de recurso desaprovechado, por lo que es necesaria la búsqueda de alternativas de gestión para este tipo de residuos agroindustriales que permitan evacuarlos favorablemente y obtener de ellos alguna utilidad, aun cuando su recolección y tratamiento de éstos implique por un lado, altos costos al ubicarlos en un lugar que no genere problema ni para la población ni para el ambiente, tales como enfermedades, malos olores, contaminación de acuíferos, deterioro del paisaje. Por lo que se debe de apostar por producir un producto para satisfacer de forma competitiva una demanda generalizada de energía más limpia, contando con los medios, recursos humanos y tecnológicos; es decir, usar esas excretas de bovino, como una energía renovable, llevando su conversión de excreta a un producto de consumo masivo, como pudiera ser el biogás y/o biocombustible, mediante el uso de los equipos y tecnología adecuados. Este equipo de generación de biogás, se conoce como biodigestor, en el cual se almacena los residuos agroindustrial por un periodo de 30 días, aproximadamente y al término de este periodo se recupera el biogás generado en el equipo, para luego ser filtrado y obtener gas metano para posteriormente poder ser utilizado como sustituto del combustible comercial.

Palabras clave: Biocombustibles, biodigestor, biogás, digestión anaerobia, residuos orgánicos.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad mundial depende del petróleo, y la escasez de éste ha provocado conflictos sociales y económicos de gran magnitud.(Gutiérrez García *et al.*, 2012)

La gestión para el manejo y tratamiento de residuos producidos en sociedades modernas representa un reto para la atenuación de la contaminación ambiental. Los residuos de tipo orgánico requieren de tecnologías que ayuden a minimizar el impacto ambiental, principalmente en áreas donde los excedentes dificultan su absorción en el suelo de manera natural.(Vélez-Sánchez-Verín *et al.*, 2008)

La utilización de nuevas fuentes de energía renovables ha tenido especial interés en los últimos años buscando disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y el impacto ambiental que ellos generan.(Díaz-González *et al.*, 2009)

Como alternativa energética surgen los biocombustibles para la reducción del consumo del petróleo y derivados, de esta manera contribuir al desarrollo sustentable.(Gutiérrez García *et al.*, 2012)

La generación de desechos orgánicos vegetales es una realidad cotidiana que se puede observar en los diferentes espacios de disposición final de desechos que se encuentran en las urbes de los países del mundo. Sin embargo, la generación de biogás a través de la biodigestión anaeróbica de estos desechos representa una alternativa de alto impacto en cuanto al aprovechamiento energético y disminución de pasivos ambientales se refiere.(Durán-García *et al.*, 2012)

Biodigestor se denomina al dispositivo en el que se lleva a cabo los procesos de transformación de la materia orgánica para la obtención de biogás, constituyéndose en el componente principal y más importante del sistema, en forma más simple es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor) dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excretas animales y humanos, desechos vegetales, no se incluyen cítricos ya que acidifican) en determinada dilución de agua para que se descomponga produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fosforo, y potasio.(Rivero, 2009)

La digestión anaerobia es un proceso que en ausencia de oxígeno supone la descomposición de la materia orgánica, mediada por enzimas, mediante un consorcio microbiano el cual a partir de moléculas orgánicas complejas forma el denominado biogás; el cual consiste en una mezcla de gases entre los que destacan el metano y el dióxido de carbono. El biogás libre de impurezas (biometano) representa una mejor alternativa energética que el gas natural. Además de la ventaja energética que el proceso de digestión anaerobia implica, representa además; una opción para la reutilización de residuos urbanos como fuente de materia orgánica y de este modo contribuye al medioambiente disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono).(Mancillas-Salas *et al.*, 2012)

El biogás es el producto de una fermentación anaerobia de la materia orgánica, el cual ha sido sometido a un proceso de purificación para elevar la calidad de éste biocombustible.(Gutiérrez García *et al.*, 2012)

La contaminación por estiércol de ganado bovino es un problema de mucho tiempo atrás, originando problemas ambientales a la atmosfera por la producción de gas metano, que este es un gas de efecto invernadero, al tirar el estiércol al aire libre causa malos olores originando la formación de moscas y al estar seco el estiércol tiende a dispersarse por la ayuda del viento.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivogeneral

Obtener mediante el uso de un biodigestor casero, gas metano utilizando estiércol bovino, para la sustitución de cualquier otro tipo de combustible, proyectando la sustentabilidad de este tipo de equipo en hogares urbanos y/o rurales.

2.2. Objetivo específico

Aprovechar el estiércol de ganado bovino para la generación de biogás, como sustituto del gas comercial, así como contribuir a la reducción las emisiones de gas metano (CH₄) y gas es de efecto invernadero a la atmosfera.

III. REVISIÓN DE LITERATURA.

3.1. EL METANO

La agricultura y la producción pecuaria contribuyen ampliamente a las emisiones antropogénicas de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O) a la atmósfera. El aumento de las concentraciones de estos gases provoca un calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera. Dentro de la gama de gases a los que se les atribuye efecto invernadero, se considera el CO₂ el más abundante y el que actualmente tiene un mayor aporte al incremento del calentamiento global. Hoy en día las concentraciones de metano son inferiores a las de CO₂, sin embargo el primero, se está incrementando rápidamente y además posee un efecto 21-30 veces más contaminante con respecto al CO₂, considerándose que en el tiempo el metano pueda ser predominante. Las tasas de acumulación de metano y dióxido de carbono en la atmósfera han cambiado drásticamente en los últimos años presentándose un incremento de forma exponencial. Cerca de 500 millones de toneladas métricas/año de metano ingresan a la atmósfera debido a actividades antropogénicas y fenómenos naturales. A esta tasa se espera que el metano cause cerca del 15-17% del calentamiento global. Actualmente se tienen definidas las fuentes de metano causantes de este efecto pero el grado de incidencia y la proporción exacta de muchas de estas fuentes no son claras (Carmona *et al.*, 2005).

Tabla No.1. Estimaciones de las principales fuentes naturales y antropogénicas de metano a nivel global (millones de Ton/año)

Naturales		Energía/ Desechos		Agricultura	
Pantanos	115	Gas y Petróleo	50	Cultivo de arroz	60
Océanos	15	Carbón mineral	40	Animales domésticos	80
Termitas	20	Carbón vegetal	10	Abonos orgánicos	10
Combustión	10	Rellenos sanitarios	30	Combustión	5
		Aguas residuales	25		

Total	160		155		155
-------	-----	--	-----	--	-----

Las emisiones de metano por los rumiantes tienen un efecto considerable a nivel medioambiental debido al aporte que este gas hace al calentamiento global y a la disminución de la capa de ozono, aspectos que llevan a cambios climáticos que afectan drásticamente, entre otros, a los sistemas de producción agrícola y pecuaria. (Carmona *et al.*, 2005)

La Comarca Lagunera representa el 0.03 % del territorio mexicano y cuenta con el 0.2 % de la población lechera nacional, con aproximadamente 430,000 cabezas de ganado. La industria ganadera produce metano de dos formas. La más importante es la fermentación entérica, derivada de la alimentación de rumiantes, y la segunda es debida al manejo del estiércol. Una vez que el metano es liberado a la atmósfera, se reconoce su importancia como un gas de efecto de invernadero, que es 58 veces más efectivo que el dióxido de carbono. Para calcular la cantidad de metano liberado en esta región, se realizó la estimación de las emisiones de CH₄ originadas por el ganado de la Comarca Lagunera, empleando el modelo del Grupo Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC). Se determinó la liberación 55 Gg de CH₄ por año, lo cual representa un 2.5 % de las emisiones nacionales de origen ganadero, una gran cantidad considerando el área de la región (0.03 %). El ganado fue responsable del 83 % de la fermentación entérica liberada a la atmósfera, y el restante 17 % se originó de los sistemas de manejo del estiércol.(M.-Quantin *et al.*, 2012)

Una vaca puede generar en promedio entre 400 a 450 litros de gas metano o entérico de origen pecuario al día (Vera, 2013).

3.2. LOS BIOCOMBUSTIBLES

La energía procedente de la biomasa y de los residuos se considera como una de las futuras fuentes de energías renovables más dominantes, sobre todo desde que la generación de energía continua a partir de estas fuentes se puede garantizar, a diferencia de otros tipos, tales como la energía solar y la energía eólica. Los materiales de desecho comolodos de depuradora, estiércol y residuos de cultivos son de especial importancia ya que estas fuentes no compiten con los cultivos alimenticios en el uso de tierras agrícolas. Las diversas tecnologías que están disponibles para la generación de energía a partir de biomasa y residuos pueden subdividirse en procedimientos de conversión termoquímica, bioquímicos y fisicoquímicos.(Appels *et al.*, 2011)

La condición de recurso finito y no renovable de los combustibles fósiles, sumado a la alta contaminación atmosférica generada en los grandes centros poblados, por el parque automotriz, que participa en alta proporción en el consumo total de energía primaria, han sido factores desencadenantes para la promoción y estudio en el país de nuevos energéticos o biocombustibles, a partir de recursos orgánicos (vegetales o animales). (Cortés Marín *et al.*, 2009)

Se entiende por biocombustible aquellos combustibles que se obtienen de biomasa. El término biomasa, en el sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en el proceso biológico de organismos recientemente vivos, como plantas, o sus desechos metabólicos (el estiércol); el concepto de biomasa comprende productos tanto de origen vegetal como de origen animal.

3.3. TIPOS DE BIOMASA.

3.3.1. Biomasa primaria. Es la materia orgánica formada directamente de los seres fotosintéticos. Este grupo comprende la biomasa vegetal, incluidos los residuos agrícolas y forestales.

3.3.2. Biomasa secundaria. Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan en su nutrición la biomasa primaria. La constituyen la materia fecal o la carne de los animales

3.3.3. Biomasa terciaria. Es la producida por los seres que se alimentan de biomasa secundaria, por ejemplo los restos y deyecciones de los animales carnívoros que se alimentan de herbívoros.

3.3.4. Biomasa natural. Es la que producen los ecosistemas silvestres; 40% de la biomasa que se produce en la tierra proviene de los océanos.

3.3.5. Biomasa residual. La que se puede extraer de los residuos agrícolas y forestales, y de las actividades humanas

3.3.6. Cultivos energéticos. Recibe esta denominación cualquier cultivo agrícola cuya finalidad sea suministrar la biomasa para producir biocombustibles.

El empleo de estos biocombustibles tiene como objetivo principal reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que sobrecalientan la superficie terrestre y aceleran el cambio climático. El uso de la biomasa para consumo energético reduce las emisiones de CO₂ en la atmósfera a diferencia del uso de hidrocarburos, lo que permite disminuir el impacto negativo que se tiene por parte de los combustibles fósiles sobre el cambio climático. (Salinas Callejas y Gasca Quezada, 2009)

3.4. RESIDUOS ORGÁNICOS.

La gestión para el manejo y tratamiento de residuos producidos en sociedades modernas representa un reto para la atenuación de la contaminación ambiental. Los residuos de tipo orgánico requieren de tecnologías que ayuden a minimizar el impacto ambiental, principalmente en áreas donde los excedentes dificultan su absorción en el suelo de manera natural. (Vélez-Sánchez-Verín *et al.*, 2008)

El estiércol de ganado vacuno no tratado constituye un importante reservorio de contaminantes, al situarse entre las principales fuentes de contaminación de mantos freáticos y del suelo.(Olivares Campos *et al.*, 2012)

El estiércol generado en los sistemas ganaderos puede provocar impactos ambientales negativos si no existe un control en el almacenamiento, el transporte o la aplicación, debido a la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales.(Pinos Rodríguez *et al.*, 2012)

La producción de ganado trae como resultado emisiones de metano (CH₄) resultante de la fermentación entérica y emisiones de CH₄ de los sistemas de gestión del estiércol del ganado. Los vacunos constituyen una fuente importante de CH₄ debido a su gran población y a la alta tasa de emisión de CH₄ provocada por su sistema digestivo rumiante(Campos Cuní, 2011)

El impacto ambiental como generación de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo ocasionado por excretas de ganado, dependerá en gran medida de la especie pecuaria, del sistema de alimentación y del manejo del estiércol.(Pinos Rodríguez *et al.*, 2012)

El aprovechamiento del valor energético de los desechos del ganado es uno de los beneficios que actualmente está teniendo auge en muchas partes del mundo ya que permite aprovechar los residuos de una ganadería intensiva. Actualmente existen instrumentos de fomento para la aplicación de tecnologías limpias que contribuyan al desarrollo sustentable de las regiones. En México se ha iniciado el intercambio de bonos por emisiones a la atmósfera a raíz del Protocolo de Kyoto que pretende la reducción de gases invernadero como el metano producido en las instalaciones ganaderas. (Casas Prieto *et al.*, 2009)

En Argentina, Chile, Colombia y 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 a las emisiones a la atmósfera y suelo, y sin especificaciones claras relacionadas con excretas de ganado. (Pinos Rodríguez *et al.*, 2012)

En los países en desarrollo, la cría de animales crea un recurso que se puede utilizar en los digestores anaerobios para producir gas metano para cocinar. (Lansing *et al.*, 2008)

En el sector agrícola, aporta 84.8% del total de las emisiones de la agricultura. Entre los animales domésticos, vacas lecheras representan el 50,6% y 27,8% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la fermentación entérica. Los cerdos son otra fuente importante de emisiones representaron el 18,9% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Kaparaju y Rintala, 2011)

3.5. DIGESTIÓN ANAEROBIA.

La digestión anaeróbica (AD), también conocida como biogásificación y la producción de biogás, es una plataforma de tecnología versátil que puede servir para muchos propósitos en la industria y la sociedad. (Madsen *et al.*, 2011)

La digestión anaerobia se ha reconocido como una tecnología amigable con el medio ambiente para convertir residuos orgánicos sólidos y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en energía renovable. (Mancillas-Salas *et al.*, 2012), es unadegradación bioquímicamicrobiológicamentemediadadematerial orgánicocomplejo encompuestos orgánicossimplesy nutrientes disueltos.(Lansing *et al.*, 2008)

La digestión anaerobia es una estrategia promisoría para la generación de compuestos de valor agregado a partir de materiales de desecho, principalmente metano. La digestión anaerobia es una serie de procesos únicos, en los cuales diversos grupos de microorganismos interactúan entre sí en una dinámica metabólica compleja, siendo parte importante de los ciclos biogeoquímicos del Carbono, Nitrógeno y Azufre. Además, éste procesos posee relevantes aplicaciones directas para las sociedades modernas como lo son el tratamiento de efluentes y la producción de energía.(Almeida *et al.*, 2011)

La digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido y en la actualidad posee una amplia aplicabilidad en el mundo, es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

La DA es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la substancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO₂, NH₃, H₂S, N₂ y CH₄.(Cámara Moguel *et al.*, 2011)

La digestión anaerobia es un proceso biológico degradativo en el que a través de sus fases consecutivas y con óptimos parámetros fisicoquímicos, diversos complejos enzimáticos generan biogás.(Cámara Moguelet *al.*, 2011), en el cual parte de los

materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en una mezcla de CO₂, hidrógeno, metano, sulfuro de hidrógeno y trazas de otros elementos.(Ferrer y Pérez, 2010)

La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales.(Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

La fermentación anaerobia permite convertir gran cantidad de residuos, efluentes de las industrias papelera, alimentaria, fermentativa y química, en energía, al transformar casi totalmente la carga contaminante en metano.(Ferrer y Pérez, 2010)

Se trata de la degradación y la estabilización de la materia orgánica compleja por un consorcio de microorganismos que conducen a una energía biogás que se pueden utilizar como energía renovable para sustituir las fuentes de energía fósiles.(Raposo *et al.*, 2011)

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.(Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

3.5.1. Ventajas.

El consumo de energía es muy bajo con el tratamiento anaerobio. Por ejemplo, no tiene que ser provisto de oxígeno y no es necesario un mezclado intenso.

La energía se puede utilizar en la planta de producción de biogás o se puede proveer a la red de la energía.

La producción de lodo en el tratamiento anaerobio es muy baja (ya estabilizados y espesados), porque la mayoría del material orgánico se convierte en biogás, no en lodo. Además, el lodo anaerobio se estabiliza y se puede desecar fácilmente por gravedad. Se puede utilizar como bioabono en la tierra.

Son sistemas que asimilan altas y bajas cargas orgánicas.

El lodo anaerobio puede ser almacenado y conservado fácilmente, lo que simplifica los arranques sucesivos después de paradas o los períodos con cargas orgánicas reducidas.

Los costos de inversión son bajos, porque se aplican altas cargas orgánicas al reactor y los tiempos de la retención son cortos. Además, el diseño y la construcción de un reactor anaerobio es simple, lo que reduce aún más los costos.

(Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

Contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, debido a la sustitución de los combustibles fósiles, tratamiento de los abonos, y la producción de CO_2 energía renovable. (Kaparaju y Rintala, 2011)

3.6. ETAPAS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Las etapas metabólicas de la digestión y los grupos de especies particulares que intervienen en cada una, así como también de los parámetros físico químicos que influyen en la eficiencia del proceso. (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

3.6.1. Hidrólisis

La primera etapa de la digestión anaerobia es algunas veces limitante en el funcionamiento de un digestor anaerobio, ya que a través de la hidrólisis las partículas complejas son solubilizadas para primeramente hacerlas accesibles al

interior de la membrana celular de los microorganismos, posteriormente en la etapa de fermentación, la materia orgánica disuelta, proveniente de la hidrólisis es degradada a ácidos orgánicos de cadena corta y alcoholes por una población microbiana heterogénea(Almeida *et al.*, 2011)

La hidrólisis, primera fase elemental, se da cuando las enzimas celulolíticas, proteolíticas y lipolíticas degradan las biomoléculas del sustrato a sus monómeros correspondientes para ser utilizados por microorganismos de la siguiente fase hasta la metanogénesis.(Cámara Moguel *et al.*, 2011)

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.(Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

La hidrólisis, involucra la transformación, mediada por exoenzimas, de compuestos orgánicos insolubles y compuestos de alto peso molecular como proteínas, carbohidratos, grasas y ácidos nucleicos en compuestos orgánicos solubles que sirven como fuente de carbono. La degradación de los carbohidratos es mediada por celulasas que los degradan en monosacáridos, disacáridos y trisacáridos; la degradación de proteínas se debe a la presencia de proteasas y peptidasas que las transforman en aminoácidos; la catabolización de lípidos es mediada por lipasas que los transforman en ácidos grasos de cadenas largas y glicerol.(Binner *et al.*, 2011)

3.6.2. Fermentación o Acidogenesis

En esta etapa los compuestos orgánicos solubles que comprenden los productos de la hidrólisis son convertidos en ácidos orgánicos tales como acético, propiónico y butírico, fundamentalmente.(Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

La fermentación es definida como una etapa crucial en la digestión anaerobia, ya que el material orgánico soluble, proveniente de la hidrólisis es convertido principalmente a acetato, ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono, es por eso que esta etapa es conocida también como acidogénesis. Una de las principales características de esta etapa de la digestión, es la producción de hidrógeno, debido a que parte de los electrones generados y que no son transferidos a bases de piridinas, son dispuestos vía reducción de protones, formando éste hidrógeno molecular. La disminución del pH en el sistema, es otra característica de la fermentación, y esta se debe a la acumulación de los ácidos orgánicos.(Almeida *et al.*, 2011)

3.6.3. Acetogénesis.

Se le conoce también como acidogénesis intermediaria en la cual los productos correspondientes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y CO₂. (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

Durante esta etapa de la digestión anaerobia, la acetogénesis, el ácido acético es producido por cualquiera de los dos diferentes mecanismos acetogénicos, la acetogénesis por hidrogenación y la acetogénesis por deshidrogenación. La acetogénesis por hidrogenación es el mecanismo por el cual se produce acetato como un único producto final de la reducción del dióxido de carbono más hidrógeno, debido a su analogía con la homofermentación láctica, esta vía también es conocida como homoacetogénesis. En digestión anaerobia la etapa de acetogénesis suele referirse a la acetogénesis por deshidrogenación, y específicamente, a la oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y corta (volátiles), las bacterias encargadas de esta vía son las conocidas como bacterias reductoras obligadas de protones o productoras obligadas de hidrógeno. Ellas son inhibidas inclusive por una pequeña presión parcial de hidrógeno, por lo cual sólo pueden sobrevivir en asociaciones sintróficas con microorganismos que consumen hidrógeno, como los

metanógenos acetoclásticos e hidrogenotróficos, las bacterias homoacetogénicas y bacterias sulfato reductoras. (Almeida *et al.*, 2011)

3.6.4. Metanogénesis.

En esta etapa metabólica el CH₄ es producido a partir del ácido acético o de mezclas de H₂ y CO₂, pudiendo formarse también a partir de otros sustratos tales como ácido fórmico y metanol. El rol de las bacterias metanogénicas se define por el tipo de sustrato disponible. (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

Es la etapa final de la digestión anaerobia. Esta consiste en la formación de metano a partir de dos rutas principales: la acetoclástica y la hidrogenotrófica. Los dos tipos de metanógenos, acetoclásticos e hidrogenotróficos son esenciales para el último paso de la conversión entre materia orgánica y metano, sin embargo, los roles de estas arqueas durante esta fase del proceso son limitados (Almeida *et al.*, 2011)

El ácido acético, el dióxido de carbono y el hidrógeno se convierten en una mezcla de metano y dióxido de carbono por bacterias metanogénicas. (Binner *et al.*, 2011)

Desglose del proceso de digestión anaerobia. Descripción general de los cuatro pasos de principio de la reacción, la hidrólisis, Acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, en el proceso de la digestión anaerobia.

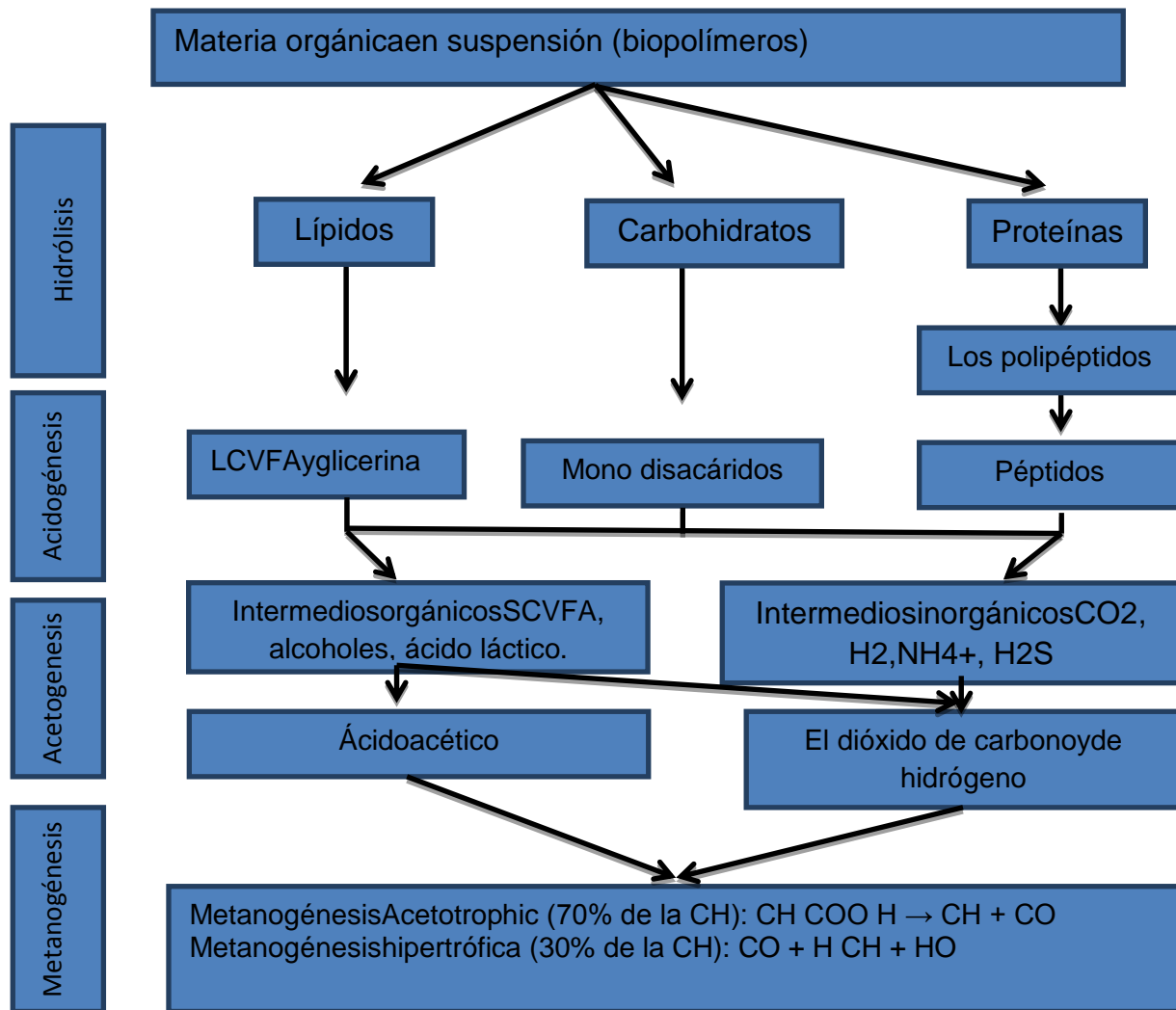


Diagrama No.1 Desglose del proceso de digestión anaerobia. Información general de las cuatro etapas de la reacción: la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis.

3.7. FACTORES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

3.7.1. Temperatura

La variación de temperatura de tal manera que las bacterias acidogénicas continúan trabajando, mientras que las bacterias metanogénicas se interrumpen. Esto es debido al hecho de que las bacterias metanogénicas son sensibles a los cambios de temperatura, mientras que las acidogénicas no lo son. Además, el ácido

producido por las bacterias acidogénicas provoca la caída del pH, evitando también el desarrollo normal de las metanogénicas. (Atem *et al.*, 2010)

Es uno de los parámetros con mayor influencia en la fermentación anaerobia, la fermentación se favorece a temperaturas dentro del rango termofílico pues incrementan la solubilización de la materia orgánica en suspensión y la producción de ácidos grasos volátiles. Sin embargo, tiene ciertas desventajas, como el alto requerimiento energético, el tiempo necesario para el establecimiento de la población bacteriana y la mayor sensibilidad a variaciones de temperatura. Así pues, en esta experiencia se ha optado por un rango mesofílico, en el cual la temperatura óptima de fermentación puede encontrarse entre 25°C y 35°C.

3.7.2. pH y Alcalinidad.

Los procesos biológicos y químicos implicados se desarrollan a rangos de pH cercanos a la neutralidad. Valores de pH inferiores a 6.0 ó superiores a 8.0 dificultan el crecimiento microbiano y el equilibrio químico de las reacciones dando lugar a la formación o acumulación de sustancias que causan efectos inhibitorios, como los ácidos grasos volátiles (AGVs) que se acumulan en la fase acetogénica por la baja velocidad de consumo de las metanogénicas provocando un descenso del pH e inhibición del crecimiento bacteriano. Igualmente valores de pH alcalinos favorecen el desplazamiento del equilibrio amonio amoniacal hacia la formación de amoniacal libre con efectos tóxicos a las bacterias metanogénicas. (Vélez-Sánchez-Verín *et al.*, 2008)

El pH ideal para la digestión se encuentra entre 7,0 y 7,2, aunque el rango satisfactorio va desde 6,6 hasta 7,6. La digestión comienza a un pH de 6,5. Bacterias metanogénicas son extremadamente sensibles a los cambios ambientales. Una disminución repentina de sólo unos pocos grados puede detener la producción de metano, pero las bacterias acidogénicas continúan produciendo ácidos y esto conduce a una acumulación excesiva de ácidos que detiene el proceso de digestión. (Atem *et al.*, 2010)

3.7.3. Nutrientes.

Aunque los tratamientos anaeróbicos se caracterizan por sus bajos requerimientos de nutrientes; una proporción adecuada de nitrógeno y fósforo es necesaria para el crecimiento de la población bacteriana. Algunos autores reportan la relación de estos nutrientes en función de la concentración de carbono considerando que la proporción C/N debe oscilar entre 15-30/1 y de C/P de 75-113/1; valores muy inferiores disminuyen la velocidad de reacción y superiores crean problemas de inhibición del proceso biológico. Otros nutrientes que se requieren en cantidades mínimas son el sulfuro, cobalto, níquel, molibdeno, selenio, riboflavina y vitamina B12. En general los residuos ganaderos suministran una suficiente concentración de todos los nutrientes siendo más común la presencia de problemas por exceso que por defecto. (Vélez-Sánchez-Verín et al., 2008)

3.7.4. Toxicidad.

La presencia de ciertos compuestos de metales, antibióticos, sales y bactericidas a bajas concentraciones alteran los procesos biológicos y afectan la digestión aun los nutrientes esenciales a altas concentraciones causan efectos tóxicos, siendo las bacterias metanogénicas las más sensibles. En alimentos para ganado con elevado contenido de proteína, un desbalance debido a altos contenidos de nitrógeno y bajas disponibilidades energéticas causa toxicidad por generación de amonio. Las concentraciones inhibitorias son variables y dependen de la capacidad de aclimatación de las bacterias las cuales están relacionadas con el pH y la temperatura. (Vélez-Sánchez-Verín et al., 2008)

3.7.5. Tiempo de retención de carga

El THR de los desechos en un digestor está determinado por el diseño del digestor, las fluctuaciones de la temperatura y composición de los desechos. Para los residuos ganaderos suele variar de 10 a 30 días. (Vélez-Sánchez-Verín et al., 2008)

3.8. MICROORGANISMOS PRESENTES EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

En el aspecto microbiológico, el proceso de digestión anaerobia se divide en tres grupos de microorganismos.

El primero corresponde al grupo de las bacterias degradadoras de polímeros, las cuales degradan macromoléculas enzimáticamente.

El segundo grupo corresponde a los acetógenos, los cuales utilizan los azúcares y oligosacáridos; los cuales transforman en ácidos orgánicos donde se destaca el ácido acético.

El tercer grupo, los metanógenos, son los encargados de producir metano a partir del acetato, el dióxido de carbono y el hidrógeno. (Bagí *et al.*, 2007)

3.9. BIODIGESTORES.

Es evidente que los recursos renovables desempeñarán un papel crucial en la limitación de las emisiones de CO₂. Energía a partir de biomasa y residuos se considera como una de las futuras fuentes de energía renovables más dominantes, ya que puede proporcionar una generación de energía continua. En este sentido, la aplicación de la digestión anaerobia está emergiendo espectacularmente. (Appels *et al.*, 2011)

Los Digestores son estructuras físicas que facilitan la digestión anaeróbica, proporcionando un ambiente anaeróbico para los organismos responsables de la digestión. (Lansing *et al.*, 2008)

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar este en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, o iluminación (lámparas de gas o gasolina), y en grandes

instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biól, actualmente se está considerando de la misma importancia, o mayor, que el biogás ya que provee a las familias campesinas de un fertilizante natural que mejora el rendimiento de las cosechas.

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable. El uso de esta tecnología no es nuevo, pero en los últimos años ha cobrado gran interés debido a la actual crisis energética producto del agotamiento de los combustibles fósiles.(Rivas Solano *et al.*, 2010)

Los biodigestores constituyen una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos generados en las empresas agropecuarias, pues permiten disminuir la carga contaminante, mejorar la capacidad fertilizante del material, eliminar los malos olores y se genera una energía renovable denominada *biogás*, que es un gas combustible que puede utilizarse para cocer alimentos, calentar agua, generar electricidad, y obtener luz directamente usando lámparas de gas.(Campos Cuní, 2011)

Los digestores anaeróbicos trabajan bajo el principio de que en ausencia de oxígeno las bacterias presentes en el residuo orgánico pueden descomponerlo. La digestión de la materia orgánica ocurre en cuatro etapas básicas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.(Mantilla Gonzáles *et al.*, 2007)

3.10. TIPOS DE BIODIGESTORES

3.10.1. Digestortubular debajo costo

Este diseño funciona como un colector de calor solar con una masa térmica. Se gana calor a través de la cubierta y, acumulando en las paredes y los lodos,

reducen las pérdidas de calor a la tierra usando aislante de paja y ambiente, debido al efecto invernadero. Los costos de construcción son típicamente dentro del alcance del pequeño agricultor. En tales reactores de flujo de tapón, el agua residual fluye horizontalmente desde un extremo al otro en una trinchera forrada con polietileno tubular o láminas de PVC, mientras que el biogás se recoge del espacio de cabeza de la bolsa por medio de una tubería de gas conectado a un depósito. (Perrigault *et al.*, 2012)

La zanja de un biodigestor tubular determina su volumen de líquido. La forma de sección transversal óptima ideal de la zanja podría ser circular, de mantenimiento de la forma original del plástico y el aprovechamiento de la capacidad total disponible. Pero, debido al hecho de que una zanja de forma circular es un reto para excavar, en las zonas rurales la tendencia es cavar formas poligonales (Cipriano y Martín Herrero, 2012)

Digestores domésticos de bajo costo son una tecnología prometedora adecuada que puede ayudar a reducir la presión sobre el medio ambiente debido a la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero. El biogás y biofertilizantes producidos pueden aliviar la pobreza, mejorando las condiciones de salud, el aumento de la productividad de los cultivos. (Garfi *et al.*, 2012)



Fig. 1. En la presente figura se muestra un Biodigestor tubular. La bolsa utilizada se encuentra dentro en una zanja hecha de tabique dentro de la cual se encuentra la materia orgánica, la salida del biogás se hace mediante una manguera que se conecta posteriormente a un recipiente de almacenamiento.

3.10.2. De alimentación continua.

En este tipo de biodigestores la alimentación de la biomasa se efectúa en intervalos regulares, por razones prácticas, estos biodigestores son alimentados intermitentemente, esto se logra aprovechando la gravedad para la alimentación. Ejemplos de estos son el digestor hindú y el digestor chino
(Magaña R. *et al.*, 2006)

Fueron desarrollados principalmente para el tratamiento de aguas negras, extendiéndose su uso, en la actualidad, al manejo de otros sustratos. En general son plantas muy grandes en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto este tipo genera una gran cantidad de biogás el que a su vez es aprovechado en aplicaciones de las grandes industrias o en la demanda de gas de una población, colocándolos dentro de la red de la ciudad. (Alejandro, 2010)

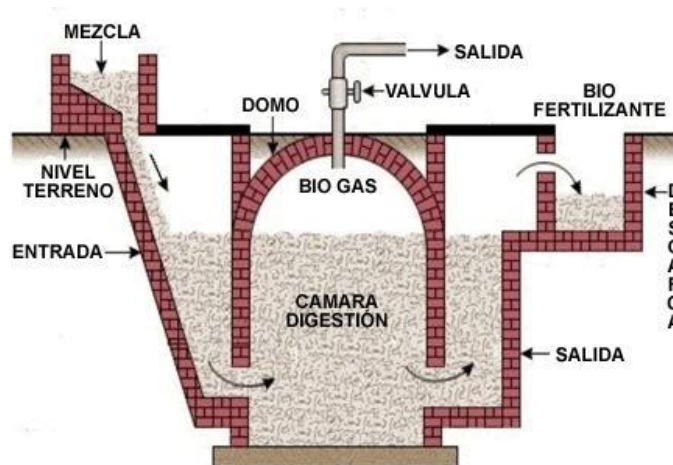


Fig. 2. En la presente figura se muestra un Biodigestor tipo chino. En el cual se pueden observar las partes que lo componen así como la entrada de la biomasa (mezcla) y la salida del biogás, así como del biofertilizante, y la cámara de digestión. Este tipo de equipos normalmente se ubican a nivel de piso.

3.10.3. Digestor tipo plugflow.

Diseñado por Reinhold y Noack en Darmstadt, Alemania, en la década de 1950, se construye en forma de canal horizontal con concreto reforzado en el que se depositan los residuos con alto contenido de sólidos, cuenta con agitadores que trabajan varias veces al día.(Magaña R. *et al.*, 2006)

Esta clase de digestores tiene la ventaja de no necesitar ningún tipo de agitación, ni ninguna parte móvil. Trabaja solo con estiércol vacuno por su alto contenido de fibra y debe cargarse con poca agua, por lo que debe tener un contenido de sólidos entre el 11% y el 13% esto hace que el estiércol a procesar deba ser recogido del piso del establo, la permanencia de la mezcla dentro del digestor es de 20 días como máximo cuando la temperatura es de 37.5 °C.(Mantilla Gonzáles *et al.*, 2007)

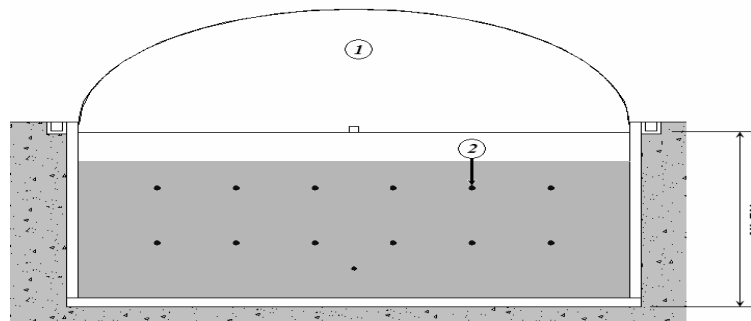


Fig.3. Biodigestor tipo pugflow, donde se puede observar las siguientes partes: (1) membrana donde se acumula el biogás, (2) materia orgánica dentro del biodigestor, o biomasa. Este tipo de biodigestores se ubican normalmente a nivel de piso.

3.10.4. De tapón de flujo.

Consiste en una zanja construida con concreto o con una membrana impermeable, el digestor se cubre con una cubierta flexible anclada al suelo, al concreto o al acero

galvanizado, estos tanques especiales son rectangulares y se tratan residuos que tengan de 11 % a 13 % total de sólidos.(Magaña R. *et al.*, 2006)



Fig. 4. En la presente figura se muestran dos Biodigestor de Tapón de flujo, estos son rectangulares, se utiliza una cubierta flexible que conforme se va generando el biogás la cubierta flexible se va inflando o aumentando de volumen.

3.10.5. Batch o Discontinuo

Se cargan de una vez en forma total, descargándose cuando han dejado de producir biogás o la biomasa está suficientemente degradada. Consisten en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable en situaciones particulares, como de materia orgánica a procesar está disponible en forma intermitente. En estos casos normalmente se usa varios digestores cargados en diferentes tiempos para mantener la continuidad del suministro de gas. (Alejandro, 2010)

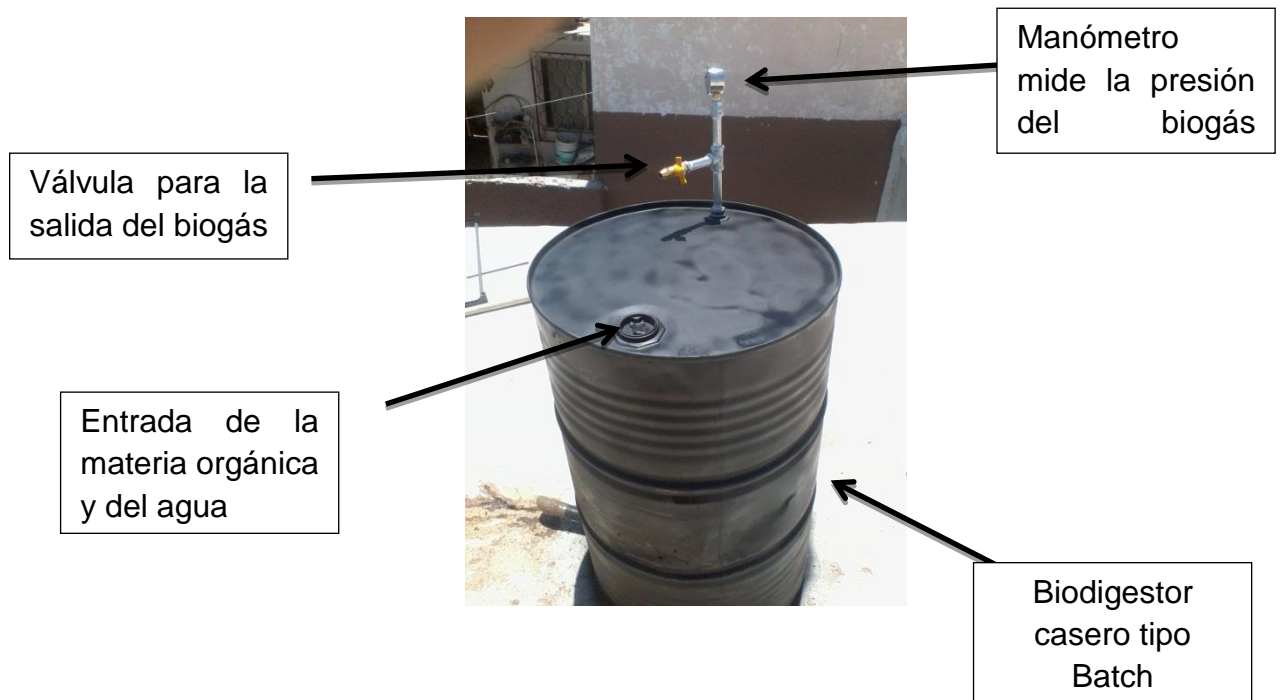


Fig.5. En la presente figura se muestra un BiodigestorBatch o Discontinuo, en el cual la materia orgánica (estiércol) se encuentra dentro del tambor y este está expuesto a los rayos del sol para que se produzca la digestión anaerobia.

3.11. SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL GAS

Métodos gasométricos son los más utilizados para la determinación de biodegradabilidad anaerobia. En estos métodos, el biogás /metano producción puede ser cuantificada ya sea manométricamente al mantener el volumen constante y midiendo el aumento de la presión, o volumétricamente proporcionando condiciones de presión constante que permite medición del volumen de gas. Las técnicas para la medición de la velocidad y el volumen de gas producido a partir de la biodegradabilidad anaerobia ensayos incluyen diferentes sistemas tales como jeringas lubricadas, volumen dispositivos de desplazamiento, manómetros o transductores de presión, manómetro de jeringas, o medidores de flujo de baja presión asistida. Además,

algunos metros automáticos de flujo de gas pueden ser considerados como mixta sistemas volumétricos/manométrica. (Raposo *et al.*, 2011)

3.12. EL BIOGÁS.

La búsqueda de alternativas energéticas de origen renovable y la disminución de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de desechos orgánicos hacen del biogás una prometedora alternativa para la sustitución de combustibles fósiles y para la valorización energética de residuos orgánicos en zonas urbanas, rurales y agroindustriales. (Cacua *et al.*, 2011)

La producción de biogás es un proceso natural que ocurre en forma espontánea en un entorno anaerobio, es decir, carente de oxígeno. Dicho proceso lo realizan microorganismos como parte del ciclo biológico de la materia orgánica, el cual involucra la fermentación o digestión de materiales orgánicos para obtener el biogás. (Rivas Solano *et al.*, 2010)

El biogás, éste puede ser utilizado en aplicaciones tales como cocción, calentamiento y generación de energía eléctrica mediante motores de combustión interna y turbinas a gas, lo cual implica buscar alternativas para mejorar las propiedades de combustión del biogás. (Cacua *et al.*, 2011)

Está compuesto por metano principalmente (del 55% al 70%) y dióxido de carbono (CO₂), además posee ácido sulfhídrico en baja cantidad y trazas de agua y monóxido de carbono (CO). La mezcla digerida (producto secundario del proceso) debe guardarse en un tanque de almacenamiento hasta que pueda ser dispuesta, normalmente como abono, para un terreno. (Mantilla González *et al.*, 2007)

El biogás es el producto principal de la digestión anaerobia, proceso biológico degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en una mezcla de CO₂, hidrógeno, metano, sulfuro de hidrógeno y trazas

de otros elementos. En este interviene un consorcio de bacterias y arqueas metanógenas, estas últimas muy sensibles al oxígeno. De ahí que este proceso sea estrictamente anaerobio. (Ferrer y Pérez, 2010)

Por otro lado, la masa restante biodegradada por las bacterias puede utilizarse como abono para la fertilización de suelos así como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación. 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. Por todo esto, la digestión anaerobia se presenta como el método más ventajoso en el tratamiento de aguas residuales de mediana y alta carga orgánica. (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005)

Tabla No. 2.- Composición del biogás. (Magaña R. *et al.*, 2006)

Componentes	% volumen
Metano CH ₄	40 – 70
Dióxido de carbono CO ₂	30 – 60
Sulfato de hidrogeno H ₂ S	0 – 3
Hidrogeno H ₂	0 – 1

3.13. BENEFICIOS DEL BIOGÁS

Utilizado comouna fuente de energía, disminuye la deforestación, reducción delas emisionesdeeste gasde efecto invernadero. (Lansing *et al.*, 2008)

Entre los beneficios que se puede describir por gas uso del biogás se pueden mencionar los siguientes: Ahorro de consumo energético (gas LP, electricidad), beneficios a la salud, reducción de enfermedades respiratorias, reducción de malos olores y puntos de contaminación por el estiércol de bovino y el principal la emisión de gases de efecto invernadero entre los que se puede mencionar el gas metano

(CH₄), así por ejemplo 1 kg de estiércol bovino que se procese en un biodigestor se evita la emisión 400 a 450 litros de metano a la atmosfera.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en una casa habitación la cual se ubica en calle San Juan de Sabinas número 158, en la colonia Valle Verde en la ciudad de Torreón, Coahuila, con una duración de 30 días, esto durante los meses de mayo y junio, del año 2013, lo anterior con la finalidad de aprovechar las altas temperaturas que se presentan en la región durante esos meses, para la obtención de biogás a través de un biodigestor de fabricación casera, utilizando como biomasa estiércol bovino.

El método que se utilizó para la generación del biogás, estuvo basado en el principio del método denominado Batch o discontinuo, que se cargan de una vez en forma total, descargándose cuando han dejado de producir biogás o la biomasa está suficientemente degradada, utilizando para tal efecto un tambo de 200 litros, utilizado como biodigestor, el cual para aumentar la temperatura se pintó de color negro y dentro de él se agregó la biomasa, consistente en estiércol de ganado bovino y una proporción adecuada de agua.

Materiales utilizados.

Los materiales empleados para la construcción del biodigestor casero, consistieron en los siguientes:

Tambo metálico cilíndrico con una capacidad de 200 Litros

1 Tee galvanizada 10 mm

2 Niple galvanizada 10 X 75 mm (3/8 X 3 ")odigst

1 Reducción bushing galvanizada 1/2 - 3/8 "

1 Reducción bushing galvanizada 3/8 – 1/4 "

1 Reducción bushing galvanizada 3/4 – 3/8 “

1 Niple galvanizado 10 x 100 mm (3/4 – 4 “)

1 Válvula invierno 10 – 13 mm P/gas

1 Tuerca loca espiga 3/8 – 3/8

1 Manómetro 0 – 100 PSI

1 cinta teflón 1/2

Pintura negra.

4.1. Metodología

Para la producción del biogás en un biodigestor de fabricación casera, se siguió la metodología Lote o Batch (Discontinuo). Se agregó al tambo o cilindro cuatro cubetas con capacidad de 20 litros cada una, de estiércol, de las cuales el 20 % fue estiércol fresco y el 80 % fue estiércol seco.

Posterior mente se le agregaron cuatro cubetas de agua de 20 litros, generando un relación de 1:1 (1 kilogramo de estiércol vacuno por 1 litros de agua).

Posteriormente se pintó de color negro el cilindro para que mantuviera y captara más el calor del sol y de esta manera genera más temperatura.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es indispensable el aprovechamiento sustentable en todos los aspectos, comenzando por el uso del estiércol bovino, que en un momento fue un desecho orgánico y ahora pasó a ser una fuente de energía renovable. Los biodigestores se pueden instalar de acuerdo a las necesidades de cada lugar, en este caso lo que importa realmente es la reutilización del agua, el aprovechamiento del estiércol, la generación del biogás, y lo más importante, ayudar a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera,

5.1. Cálculo del volumen del biodigestor.

En este caso, el estiércol producido por la cantidad de cabezas de ganado en un establo o rancharía, producirán la biomasa necesaria para llevar a cabo la operación de generación del biogás.

5.2. Volumen de la biomasa.

Para llevar a cabo la operación de generación de biogás mediante el uso de excretas de ganado bovino, es importante observar la relación estiércol-agua. La producción de estiércol de una vaca, depende básicamente de la alimentación, esto da lugar a que si una vaca es alimentada con más fibra, el porcentaje de agua será menor, como sucede con las vacas secas. Si la ración es de forrajes ricos en proteínas como los granos, las vacas tendrán mayor producción y producirán un 15% de materia seca. Tal es el caso de vacas secas que son alimentadas por silo de sorgo, semilla de algodón, fibra y forraje verde. Normalmente las vacas en producción son alimentadas con forraje de mejor calidad, granos, pastas, harinas, etc.

Cuadro No. 1 Generación total de estiércol. Ejemplo de la generación total de estiércol por un hato de 325 vacas.

Hato	No. De vacas	Cant./estiércol/día Kg	Estiercol generado Kg/hato
Vacas en producción.	325	53.3	17,225
Vaquillas	100	42.64	4,264
Becerras	120	12.3	1,476

Fórmula para el cálculo del volumen de la digestión de la biomasa.

$$VB = TR \times [EP/\rho EP + RA/\rho A]$$

Dónde: VB = volumen del biodigestor.

TR = tiempo de retención.

EP = estiércol producido.

ρEP = densidad del estiércol.

RA = es la cantidad de agua agregada en la mezcla según la relación estiércol-agua.

ρA = densidad del agua.

5.3. Volumen de biogás producido diariamente.

En la siguiente tabla se puede observar el volumen del biogás que se puede producir en un biodigestor.

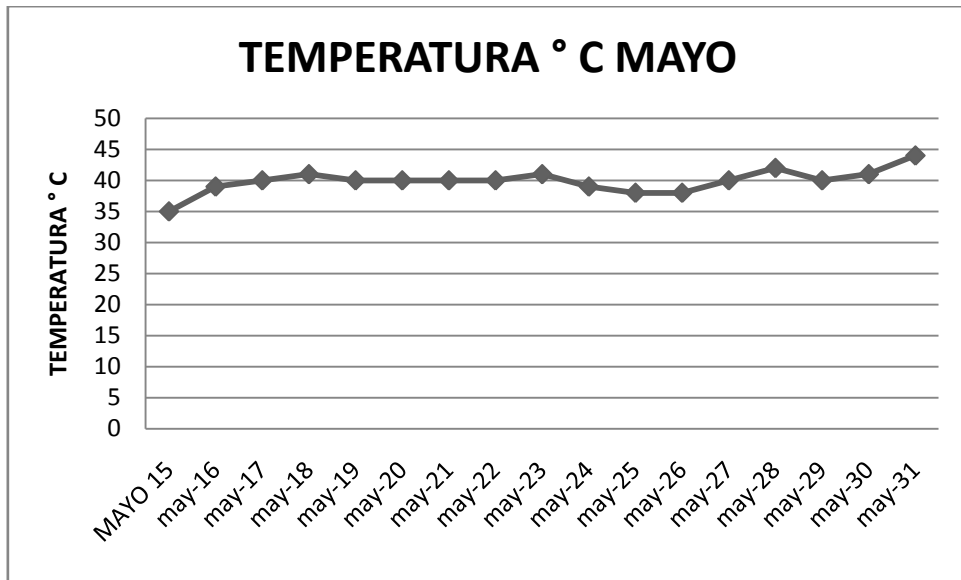
1 kg de estiércol bovino	0,038 m ³ de biogás
1 kg de estiércol de ave	0,043 m ³ de biogás
1 kg de estiércol porcino	0,035 m ³ de biogás
1 kg de estiércol vegetales	0,040 m ³ de biogás

Para la producción del biogás, el biodigestor construido caseramente se colocó sobre la azotea de un hogar, en la colonia Valle Verde de la ciudad de Torreón, por lo que se tomó en cuenta las siguientes condiciones climáticas, específicamente la temperatura ambiente, durante el tiempo que duro la generación del biogás en el biodigestor.

Tabla No. 3. Temperatura ambiente que se presentó durante los meses de mayo y junio del año 2013.

MES /DÍA	TEMPERATURA ° C	MES /DÍA	TEMPERATURA ° C
MAYO 15	35	JUNIO 1	43
MAYO 16	39	JUNIO 2	40
MAYO 17	40	JUNIO 3	40
MAYO 18	41	JUNIO 4	41
MAYO 19	40	JUNIO 5	42
MAYO 20	40	JUNIO 6	42
MAYO 21	40	JUNIO 7	40
MAYO 22	40	JUNIO 8	38
MAYO 23	41	JUNIO 9	41
MAYO 24	39	JUNIO 10	38
MAYO 25	38	JUNIO 11	38
MAYO 26	38	JUNIO 12	39
MAYO 27	40	JUNIO 13	36
MAYO 28	42	JUNIO 14	36
MAYO 29	40	JUNIO 15	38
MAYO 30	41		
MAYO 31	44		

Grafica No. 1 Temperaturas que se presentaron durante el periodo de la generación del biogás, que comprende la segunda quincena de mes de mayo del año 2013.



Grafica No. 2 Temperaturas que se presentaron durante el periodo de la generación del biogás, que comprende la primera quincena de mes de junio del año 2013

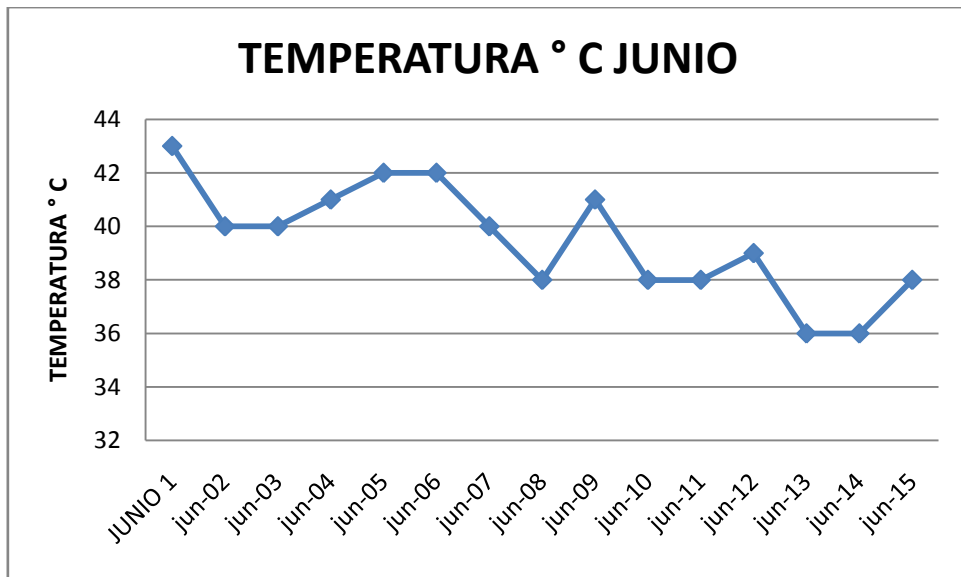


Tabla No. 4 Producción del biogás. Los días están considerados a partir del primer día de la generación del biogás. Por lo que a los 6 días, se generaron 0.100 kg de biogás y así sucesivamente.

DÍAS	KG DE GAS
6	.100
17	.400
19	.100
28	.500
Total de biogás	1.100

Grafica No. 3. Biogas generado durante los 30 dias de retencion de la materia organica

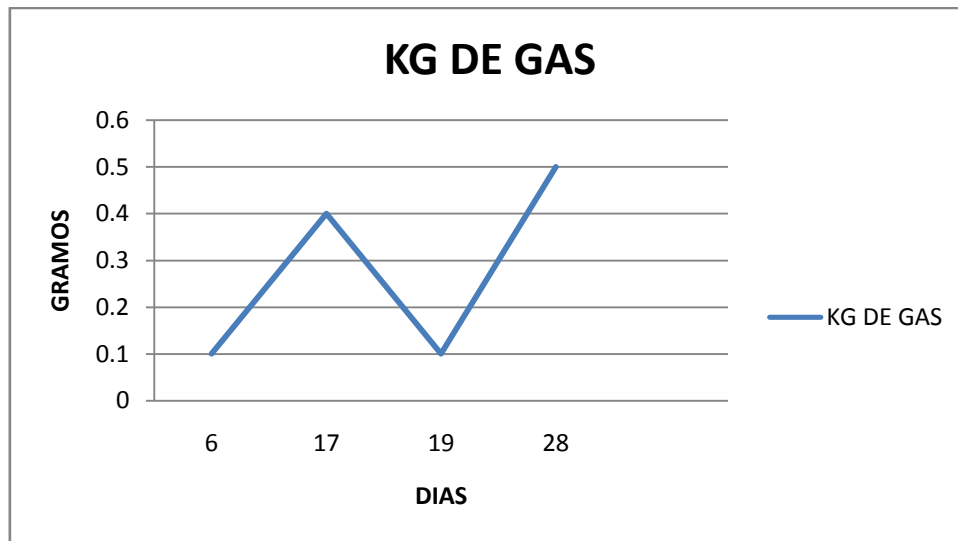


Tabla No. 5 Lecturas de PH. En la siguiente tabla se muestran las tomas de lecturas del pH del líquido que se genera durante la generación del biogás, este líquido puede emplearse como bioabono.

Muestra	PH
1	7.8
2	7.9
3	7.9

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

La utilización de un biodigestor casero, para la generación de biogás, empleando materiales comunes, como lo es un tambo metálico de 200 litros y accesorio comunes, como los señalados en el punto correspondiente a los materiales y métodos. Resulta viable y sustentable, arrojando una cadena de beneficios tanto sociales, económicos y ambientales, lo anterior en virtud de que se pudo comprobar que si hubo generación de gas.

Por lo que se puede considerar que la construcción e instalación de biodigestores con este tipo de materiales, resulta muy económico para la generación de biogás y de esta manera sustituir el uso de combustibles hogareños, como gas metano y/o gas natural.

De lo anterior se puede concluir y resaltar los siguientes beneficios que traería consigo la instalación de este tipo de equipos en un hogar, que como se ha mencionado, puede ser en un hogar del medio rural o bien en colonias de la periferia de las ciudades:

a).- La construcción de un biodigestor con materiales de fácil acceso, resulto viable y sustentable, bajo las condiciones económicas actuales.

b).- La construcción y operación del biodigestor, en la ubicación donde se instaló para el desarrollo del presente estudio, resulto favorable bajo las condiciones, climáticas y económicas.

c).- La generación del biogás, bajo estas condiciones ayuda a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando a que exista una menor contaminación atmosférica.

6.2. RECOMENDACIONES.

Como resultado de la construcción y operación de un biodigestor de tipo casero, con el cual se trabajó para la realización de este trabajo, se puede concluir que si es factible su uso en los hogares para la sustitución del gas comercial. Por lo anterior se recomienda, llevar a cabo, las siguientes actividades para futuros trabajos como este:

1.- Una vez que se haya generado el biogás en el biodigestor que para el caso presente fue un tambo de 200 litros, tratar de llevar a cabo un análisis de dicho gas, mediante equipos de laboratorio para comprobar que el gas generado es efectivamente gas bueno y llevar a cabo su uso como combustible.

2.- De igual manera llevar a cabo un análisis de laboratorio, al líquido generado con la finalidad de comprobar su eficiencia como un bioabono, ya que de acuerdo a la literatura sobre los biodigestores, estos, además de producir biogás, también generan un líquido que puede emplearse como abono.

3.- Realizar un proyecto o prototipo, para la instalación en varios hogares de este tipo de biodigestores, para que dichos hogares utilicen el biogás como combustible. Asiéndolo de esta manera un proyecto real de sustentabilidad.

Con lo anterior y en el desarrollo de este trabajo se llega a la conclusión de la frase aquella de que “La materia no se crea ni se destruye solo se transforma”.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

- Alejandro, B. B. 2010. "Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos." Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politecnica Superior.
- Almeida, A., E. Nafarrate-Rivera, A. Alvarado, A. Cervantes-Ovalle, M. P. Luevanos, E., R. Oropeza y N. Balagurusamy 2011. "Expresión genética en la digestión anaerobia: un paso adelante en la comprensión de las interacciones tróficas de esta biotecnología." Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila 3: 14-34.
- Appels, L., J. Lauwers, J. Degréve, L. Helsen, B. Lievens y K. Willems 2011. "La digestión anaeróbica de la producción mundial de la bioenergía: Posibilidades y desafíos de la investigación." Renewable and Sustainable Energy Reviews 15: 4295 - 4301.
- Atem, A. D., M. E. Indiveri y S. Llamas 2010. "Almacenamiento de la biomasa para su posterior uso de la energía a través de la producción de biogás." international Journal of Hydrogen Energy 35: 6048 - 6051.
- Bagí, Z., N. Ács, B. Bálint, L. Horváth, K. Dobó, K. R. Perei, G. Rákhely y L. K. Kornel 2007. "Intensificación biotecnológica de producción de biogás." Appl Microbiol Biotechnol 76: 473 - 482.
- Binner, R., V. Menath, H. Huber, M. Thomm, F. Bischof, D. Schmack y M. Reuter 2011. "Estudio comparativo de la estabilidad y la vida media de las enzimas y los agregados de enzimas aplicadas en el proceso de anaerobiosis de biogás." Biomass Conv. Bioref 1: 1 - 8.
- Cacua, K., A. Amell y L. Olmos 2011. "Estudio comparativo entre propiedades de combustión de la mezcla biogás-aire normal y biogás-aire enriquecido con oxígeno." Ingeniería e Investigaciones 31: 233 - 241.
- Cámara Moguel, K. C., J. R. Laines Canepa y J. A. Sosa Olivier 2011. "Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima." SIIR.

- Campos Cuní, B. 2011. "Metodología para determinar los parametros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino." *Ciencias Tecnológicas Agropecuarias* 20: 37-41.
- Carmona, J. C., D. M. Bolívar y L. A. Giraldo 2005. "El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo." *Colombiana de Ciencias Pecuarias* 18: 49 - 63.
- Casas Prieto, M. Á., B. A. Rivas Lucero, M. Soto Zapata, A. Segovia Lerma, H. A. Morales Morales, M. I. Cuevas Gonzáles y C. M. Keissling Davison 2009. "Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los biodigestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de delicias, chih." *Mexicana de Agronegocios* 13: 745-756.
- Cipriano, J. y J. Martín Herrero 2012. "Metodología de diseño de digestores tubulares de bajo costo." *Bioresource Technology* 108: 21 - 27.
- Cortés Marín, E., H. Suarez Mahecha y S. Pardo Carrasco 2009. "Biocombustibles y Autosuficiencia Energética." *Dyna* 76: 101 - 110.
- Díaz-González, C., A.-A. Arrieta y J.-L. Suarez 2009. "Comparison of combustion properties of simulated biogas and methane." *CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro* 3: 225-236.
- Durán-García, M., Y. Ramírez, R. Bravo y L. Rojas-Solórsano 2012. "Biogas home-production assessment using a selective sample of organic vegetable waste. A preliminary study." *Interciencia* 37: 128-132.
- Ferrer, Y. y H. Pérez 2010. "Los microorganismos en la digestión anaerobia y la producción de biogás. Consideraciones en la elección del inóculo para el mejoramiento de la calidad y el rendimiento." *ICIDCA* 43: 9 - 20.
- Garfi, M., L. Ferrer Martí, E. Velo y i. Ferrer 2012. "Evaluación de las ventajas de digestores domésticos de bajo costo para las comunidades rurales de los Andes." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 575 - 581.
- Gutiérrez García, G. d. J., Mondaca Fernández Iram, M. M. Meza Montenegro, A. Félix Fuentes, J. d. J. Balderas Cortés y P. Gortáres Moroyoqui 2012. "Biogas: una alternativa ecológica para la producción de energía." *Ideas CONCYTEG* 7: 881-894.

- Kaparaju, P. y J. Rintala 2011. "La mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la adopción de la tecnología de digestión anaeróbica en los productos lácteos, cerdas y cerdos granjas en Finlandia." *Renewable Energy* 36: 31 - 41.
- Lansing, S., R. Botero Botero y J. F. Martin 2008. "Tratamiento de residuos y calidad del biogás en digestores agrícolas en pequeña escala." *Bioresource Technology* 99: 5881 - 5890.
- Lorenzo Acosta, Y. y M. C. Obaya Abreu 2005. "La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte 1." *ICIDCA* 1: 35 - 48.
- M.-Quantin, B. Roy, A. Moreno-Resendez y J. Vásquez-Arroyo 2012. "Emisión de metano causado por el ganado y el estiércol en la Comarca Lagunera: Impactos ambientales y oportunidades para la producción de biogás." *Chapingo Serie Zonas Áridas* 11: 45 - 50.
- Madsen, M., J. B. Holm Nielsen y K. H. Esbensen 2011. "Supervisión de los procesos de digestión anaerobia: Una perspectiva crítica." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 3141 - 3155.
- Magaña R., J. L., E. Torres R., M. T. Martínez G., C. Sandoval Juárez y R. Hernández Cantero 2006. "Producción de biogás a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabras." *Acta Yniversitaria* 16: 27 - 37.
- Mancillas-Salas, S., A. Rodríguez-de la Garza José y L. Ríos-González 2012. "Bioestimulación de la digestión anaerobia." *Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila* 4: 56-62.
- Mantilla Gonzáles, J. M., C. A. Duque Daza y C. H. Galeano Urueña 2007. "Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogas utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno." *Ingeniería e Investigaciones* 27: 133 - 142.
- Olivares Campos, M., A. Hernandez Rodriguez, V. C. C., J. Jáquez Balderrama y D. Ojeda Barrios 2012. "Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo." *Universidad y Ciencia Tropico Humedo* 28: 27 - 37.

- Perrigault, T., V. Weatherford, J. Martín Herrero y D. Poggio 2012. "Hacia la optimización del diseño térmico de los digestores tubulares en climas fríos: Un modelo de transferencia de calor." *Bioresource Technology* 124: 259 - 268.
- Pinos Rodríguez, J. M., J. C. García López, L. Y. Peña Avelino, J. A. Rendón Huerta, C. González González y F. Tristán Patiño 2012. "Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América." *Agrociencia* 46: 359 -370.
- Raposo, F., M. A. De la Rubia, V. Fernández Cegrí y R. Borja 2011. "La digestión anaerobia de substratos orgánicos sólidos en lotes: Una visión general en relación con los rendimientos de metano y procedimientos experimentales." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 861 - 877.
- Rivas Solano, O., M. Faith Vargas y R. Guillén Watson 2010. "Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad." *Tecnología en Marcha* 23: 39 - 46.
- Rivero, O. C. 2009. "Biogas en Bolivia programa "viviendas autoenergeticas" una nueva forma de ver el fututro energético-ambiental del país en área rural." *Desarrollo local sostenible* 2: 1-8.
- Salinas Callejas, E. y V. Gasca Quezada 2009. "Los biocombustibles." *El Cotidiano* 157: 75 - 82.
- Vélez-Sánchez-Verín, C. E., C. Pinedo-Álvarez, O. A. Viramontes-Olivas, C. Ortega-Ochoa y A. Melgoza-Castillo 2008. ""Bio-tecnologías ambientales para el tratamiento de residuos ganaderos"." *Tecnociencia chihuahua* 2: 131-144.
- Vera, J. C. K. 2013. "Medición de la emisión de metano en bovinos." *Revista Veterinaria Argentina*: 1 - 3.

Revisado el jueves 28 de noviembre de 2013
<http://www.accuweather.com/es/mx/torreon/242475/juneweather/242475?monyr=6/1/2013>.