



Universidad Autónoma del Estado de Guerrero
Maestría en Ciencias Agropecuarias y de Gestión Local

**SUSTENTABILIDAD EN EXPLOTACIÓN BOVINA DE DOBLE PROPÓSITO,
MEDIANTE UN BIODIGESTOR**

T e s i s:

**Para obtener el grado de Maestra en Ciencias
Agropecuarias y Gestión Local.**

Presenta:

Ing. Maria Guadalupe Padilla Martínez

Director:

Dr. Eleuterio Campos Hernández

Codirector:

Dr. Joel Moreira Acosta

Asesores:

Dr. Gregorio Sarabia Ruiz

Dra. Dolores Vargas Álvarez

Dr. Jaime Olivares Pérez

Iguala de la Independencia, Guerrero. Julio, 2019

Dedicatoria

A mi hija **Valeria Sofía Padilla Martínez**, porque desde que supe que llegaría tome la decisión de jamás dejarme vencer por ningún obstáculo que se presente en la vida ya que su amor es lo mejor que tengo.

A mis padres y hermano, **Guillermo Padilla, Isavel Martínez, Luis Miguel Padilla Martínez**, por su paciencia, comprensión, apoyo y amor incondicional.

Al **Dr. Eleuterio Campos Hernández** por acompañarme y ser mi maestro y amigo, en esta nueva etapa de mi vida.

A mis padrinos **Ubaldo Pérez y Berenice Martínez**, por su apoyo incondicional, sus acertados consejos y su amor incondicional a lo largo de mi vida.

Agradecimientos

Le agradezco a Dios y a la vida por haberme permitido llegar y concluir esta nueva etapa de mi vida, le agradezco a mis padres por su paciencia, comprensión y apoyo, por que sin ellos esto no hubiera sido posible, le agradezco a mi hermano por su apoyo incondicional, a la Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local de la Universidad del Estado de Guerrero por la oportunidad de conocer una nueva disciplina al Dr. Eleuterio Campos por su apoyo incondicional, conocimiento compartido, paciencia y motivación a lo largo de todo el proceso, a mi tío el MVZ. Jacob Martínez Figueroa por su apoyo al contactarme con el Ing. Francisco Carreño Vera que con su apoyo y ayuda fue instalado al 100% el biodigestor rígido DM1, para la realización de este experimento, sin dejar de agradecerle a mi comité tutorial, al Dr. Gregorio Sarabia por su conocimiento compartido al igual que el Dr. Jaime Olivares y la Dra. Dolores Vargas.

Le agradezco a los investigadores de los investigadores del instituto de Investigacion e Innovación en Energias Renovables, de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, al Dr. Joel Moreira, Dr. Nein Ferrer, M.C. Oscar Aguirre Martinez, M.C. Yashi Portillo, M.C. Laura Vélez, M.C. Fidel, M.C. Lorena Ramírez, y el Art. Efraín, Ing. Genaro Gordillo, el estudiante de ingeniería en energía de la politécnica del estado de Guerrero al C. Jaime Orlando Fuentes Martinez y a los estudiantes de Ingeniería en Energias Limpias de la Universidad Autónoma de Guerrero. por su apoyo y conocimiento compartido para este proyecto.

Índice

	Página
1 INTRODUCCIÓN	1
2 PROBLEMÁTICA	4
3 MARCO TEÓRICO	6
a. Sustentabilidad	6
b. Biodigestor	8
c. Digestión anaerobia y sus productos	9
4 ANTECEDENTES	18
5 OBJETIVOS	27
6 JUSTIFICACIÓN	28
7 MATERIALES Y MÉTODOS	31
a. Implementación de un biodigestor DM1® en el rancho “El Trébol”	31
b. Uso de suero de leche con estiércol bovina en biodigestores rígidos DM1® en modelo de laboratorio	32
c. Medición de los parámetros operacionales del biodigestor DM1® modelo de laboratorio con uso de suero de leche	35
8 RESULTADOS	38
a. Producción del biogás y estudio bromatológico del abono orgánico	38
b. Medición de parámetros operacionales de los biodigestores rígidos DM1® modelo de laboratorio con uso de suero de leche	39
c. Bromatológico del abono orgánico con suero de leche	41
9 ANÁLISIS	43
a. Sustentabilidad	43
b. Producción de biogás en el biodigestor rígido modelo DM1®	44
c. Análisis bromatológicos del biol obtenido por el biodigestor rígido modelo DM1®	45

d.	Monitoreo de los parámetros operacionales de los biodigestores rígidos modelo DM1®, modelo de laboratorio	47
10	CONCLUSIONES	54
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
12	ANEXOS	63

Índice de Tablas

	Página
1 Materiales para la construcción de los Biodigestores rígidos DM1®, modelo de laboratorio	66
2 Formulación de sustratos para los tratamientos con uso de suero de leche.	35
3 Composición bromatológica del biol del Biodigestor Rígido Modelo DM1® instalado en el rancho “El Trébol”	39
4 Composición bromatológica del abono orgánico (biol), con suero de leche (T3)	42
5 Composición bromatológica de distintos abonos orgánicos	46
6 Tabla 6. Interpretación del pH. De acuerdo con Ward et al. (2008).	49
7 Comparación de los abonos orgánicos obtenidos por el biodigestor rígido modelo DM1® y del biodigestor rígido modelo DM1® modelo de laboratorio con la implementación de suero de leche y bicarbonato de sodio T3.	53

RESUMEN

México y el mundo se encuentran en alerta roja de sobrevivencia, ya que nuestros recursos están siendo sobreexplotados, y los recursos fósiles se agotan. El desarrollo sustentable, busca la estabilidad económica, social y ambiental sin perjudicar las generaciones futuras, siendo la única forma de salvar al planeta, ya que la contaminación cada vez es mayor. La generación de energías limpias por medios de un biodigestor, es una manera sustentable para las producciones ganaderas ya que el ganado bovino produce alta emisiones de gas metano (CH_4), unos de los gases presentes en el efecto de invernadero.

En el presente trabajo se implementó un biodigestor rígido modelo DM1® que fue transferido del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, el cual fue instalado en una unidad productiva de bovinos en la comunidad de Piedras Negras, Pilcaya, Guerrero, México., tal biodigestor cuenta con una capacidad de 1100 litros, el cual utiliza estiércol como materia prima para la generación de biogás y abono orgánico.

El Biodigestor rígido modelo DM1® se instaló en el Rancho “El Trébol” ya que es una empresa agroecológica productora de ganado bovino y productos lácteos derivados de la ganadería (queso, yogurt, crema etc.), y requieren de uso de combustibles fósiles para su producción, sin dejar de lado que el estiércol producido por su ganado no cuenta con un manejo adecuado ya que su ganado se encuentra la mitad en establo y el otro en pradera.

El objetivo de este trabajo fue analizar la producción del biodigestor ya que las condiciones climáticas son diferentes al lugar en donde se realizaron los primeros análisis. Otra parte importante fue el hecho de que en el estado de Guerrero no existen muchas agro empresas que utilicen este tipo de tecnología ya que no cuentan con el conocimiento necesario y se basan fuertemente en sus costumbres de producción.

Posteriormente se realizó un estudio modelo de laboratorio del biodigestor rígido DM1® en el cual se utilizó suero de leche a diferentes formulaciones en combinación con estiércol de ganado bovino y agua, dicho estudio se llevó a cabo en el Taller de prototipos del Instituto de Investigación e Innovación de Energías Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas utilizando las herramientas necesarias para su elaboración.

De acuerdo a la literatura de construcción y operación del biodigestor rígido DM1®, se construyeron cuatro biodigestores en modelo de laboratorio con los mismos principios. Los cuales se utilizaron para evaluar el uso del suero de leche en conjunto con el estiércol bovino y agua, de los cuales se analizaron los parámetros operacionales que son: temperatura, presión y pH, ya que la producción de biogás y bioabono requieren de condiciones anaerobias adecuadas para su óptima operación. La puesta a punto de los biodigestores fue óptima ya que cumplió con las medidas de control adecuadas para su producción. Demostrando que el suero de leche acidifica la mezcla, así que es necesario monitorear su pH para controlar su acidez, por lo que se le agregó bicarbonato de sodio (NaHCO_3), para

controlar el pH y así lograr mantener las condiciones adecuadas para su óptima operación.

Palabras clave: *Excretas, biodigestor, biogás, biol, suero de leche, parámetros operacionales*

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de disminuir el continuo avance en el calentamiento global causado por el uso indiscriminado de combustibles fósiles, se hace necesario encontrar nuevas alternativas para la producción de energía; entre ellas la biomasa, es una de las más importantes. Al utilizar biocombustibles se reduce considerablemente el CO₂, que es enviado a la atmosfera; la materia prima, la biomasa consume CO₂, a medida que se va desarrollando y luego, durante la combustión, emite una cantidad equivalente a la utilizada durante su crecimiento (Rincón y Silva, 2014).

La sustentabilidad ambiental se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras (Ahumada *et al.*, 2012). Uno de los principales retos que enfrenta México es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social. Solo así se puede alcanzar un desarrollo sustentable. El cuidado del medio ambiente está ligado al uso adecuado de los recursos, sin perjudicar la economía y el bienestar de la sociedad (Gudynas, 2003).

Una de las principales actividades económicas en México, es la agropecuaria que ocupa el 62.9 % de PIB, según el Censo Agrícola Ganadero y Forestal existen 319,351 unidades de producción (UP) con una superficie de 3.3 millones de hectárea, ocupa al rededor del 39% del territorio estatal y cuenta con 1,398,535 cabezas de ganado bovino (SAGARPA, 2016). En EE. UU la agencia de protección ambiental (EPA) se encarga de supervisar y certificar el manejo y disposición de excretas animales para que no afecten cuerpos de agua, suelo y atmósfera, en

Canadá las regulaciones para manejo y depósito de excretas animales no es menos rigurosas. 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).

La generación de energías limpias por medio de un biodigestor disminuye la emisión de gases de efecto invernadero producto de la actividad agropecuaria, ya que utiliza las excretas de los animales como materia prima y se produce biogás y biol (abono orgánico). Estos beneficios hacen que se requieran menor cantidad de fertilizante químicos, al mismo tiempo que abarata costos y mejora la productividad y calidad de los cultivos (Vélez, 2015).

Se instaló un biodigestor rígido acuerdo al modelo DM1® en el rancho “El Trébol” agro empresa de explotación de ganado bovino contando con un aproximado de 150 cabezas de ganado bovino de doble propósito, ubicada en la comunidad del Piedras Negras, municipio de Pilcaya, Guerrero, se localiza entre los paralelos 18°42"00" y 18°46"00" de longitud norte y los 99°30"00" y 99°44"00" de longitud oeste.

El biogás obtenido durante 15 días es suficiente para la cocción de alimentos durante 90 horas, es de fácil almacenamiento y traslado ya que la mayor parte de su composición es gas metano. La producción de biol (abono orgánico), es de 100 litros diarios después de la digestión y obtención de biogás. El costo de instalación

se recupera en los primeros tres meses. Contribuyendo al cuidado del medio ambiente y a la salud pública.

Ya que la zona norte del estado de Guerrero es una zona productora de ganado bovino y productos lácteos como queso, crema, yogurt, etc., siendo una de sus fuentes económicas más importantes de la región (SAGARPA, 2016). Tomando en cuenta que el estiércol y el suero de leche son considerados desechos los cuales no cuentan con un tratamiento adecuado, se convierten en un problema sanitario y ambiental (Campero, 2012).

El suero de leche está compuesto por agua, lactosa, proteínas, minerales (calcio, fósforo y magnesio) y grasa (Hernández y Vélez, 2014). Según Baldón (2013), la demanda bioquímica de oxígeno en el suero, refleja que es un líquido altamente biodegradable por lo que la digestión anaeróbica y la generación de energías limpias es una alternativa para su aprovechamiento.

El objetivo de este trabajo fue disminuir los agentes contaminantes por el suero de leche y excretas de ganado bovino, las cuales se utilizaron como materia prima para la generación de biogás y abono orgánico implementándolos en biodigestores modelo DM1® a modelo de laboratorio en diferentes formulaciones para analizar el comportamiento de los parámetros de operación y así identificar cuál de las formulaciones es la que permite una óptima producción. Al mismo tiempo se mandó a analizar el abono orgánico obtenido el cual se comparó con el abono orgánico obtenido del biodigestor instalado en el rancho “El Trébol”, este sin suero de leche. Los biodigestores se han convertido en una alternativa para la sustentabilidad de las explotaciones de ganado bovino del país.

2. PROBLEMÁTICA

La sustentabilidad se ha vuelto un tema de máximo importancia, ya que busca el desarrollo económico, social y ambiental sin perjudicar las generaciones futuras, hoy en día los recursos naturales se encuentran sobreexplotados, y México no cuenta con normas que exija un manejo adecuado de los desechos orgánicos de las explotaciones ganaderas, y es conocido que las explotaciones de ganado bovino producen altas emisiones de gases de efecto invernadero como es el metano (CH_4), el dióxido de carbono (CO_2), entre otros, los cuales causan el sobrecalentamiento global, un tema de gran importancia.

En México no existe una ley que exija el manejo adecuado para el estiércol producida por la ganadería, ya que este se convierte en un foco de contaminación. El estado de Guerrero ocupa el 10° lugar en producción de ganado bovino, las regiones más importantes son Costa Chica, Costa Grande, Tierra Caliente y Zona Norte, las cuales no les brindan un manejo adecuado a las excretas producidas, convirtiéndose en focos de infección para la salud pública y ambiental.

Se estima que en México se producen 61 millones de toneladas de estiércol por año que provocan impactos ambientales negativos como son, la generación de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo, esto depende en gran medida de la especie pecuaria, el sistema de alimentación y el manejo del estiércol.

El biodigestor rígido modelo DM1® el cual fue desarrollado por investigadores del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables

(IIER), de la universidad de ciencias y artes de Chiapas, ha sido implementado en el campo experimental del instituto al igual que en diferentes comunidades y Ranchos del Estado de Chiapas y Guerrero.

Sin embargo, no existe un estudio en el cual se le haya agregado un sustrato adicional para mejorar la eficiencia de la producción del biogás, y que a la vez ayude al enriquecimiento del abono orgánico producido por el biodigestor rígido modelo DM1®. Por tal razón se realizará la implementación del suero de leche como sustrato adicional en diferentes concentraciones, para analizar el comportamiento del biodigestor rígido modelo DM1® en la producción de biogás, y el enriquecimiento del abono orgánico.

La zona norte del estado de Guerrero es una zona productora de ganado bovino y productos lácteos como queso, crema, yogurt, etc., siendo una de sus fuentes económicas más importantes de la región. Tomando en cuenta que el estiércol y el suero de leche son considerados desechos, los cuales, si no cuentan con un tratamiento adecuado se convierten en un problema sanitario y ambiental.

El suero de leche está compuesto por agua, lactosa, proteínas, minerales (calcio, fósforo y magnesio) y grasa. La demanda bioquímica de oxígeno en el suero, refleja que es un líquido altamente biodegradable por lo que la digestión anaeróbica y la generación de energías limpias es una alternativa para su aprovechamiento y sustentabilidad.

3. MARCO TEÓRICO

a. Sustentabilidad

México destaca a nivel regional por los avances con que cuenta en materia de acceso a la energía y el crecimiento en el aprovechamiento de las energías renovables no convencionales. Sin embargo, será necesario incrementar el nivel de diversificación de las tecnologías en la generación de energía eléctrica, pero también para usos térmicos y para el transporte. Próximamente México será parte de la iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas “Energía Sustentable para Todos” conocida por sus siglas en inglés como SE4ALL (Beltrán et al, 2013).

Para incrementar la participación de las energías renovables es indispensable contar con recursos renovables suficiente y adecuadamente distribuidos. Se clasifican en recursos posibles, probables y probados, para distinguir el nivel de asequibilidad de los recursos energéticos. De acuerdo con el INER hay un potencial probado para generar hasta 892 GWh/año de energía geotérmica, 1,365GWh/año de energía minihidráulica, 9,789GWh/año de energía eólica, 542 GWh/año de energía solar y 579GWh/año de bioenergía. Estas estimaciones se multiplican al considerar las reservas probables y posibles (Blandón et al., 2013).

El aprovechamiento de biomasa, biogás y biocombustibles para la generación de energía eléctrica se ha convertido en una alternativa considerablemente relevante en regiones como Europa y Norteamérica, pero también en economías emergentes como China, y particularmente Brasil y Chile.

Son precisamente estos dos países Latinoamericanos los que cuentan con la mayor participación de energías de bioenergéticos en la matriz de generación eléctrica. Alemania, Japón, Canadá, España y Estados Unidos, tienen una participación superior al 1% (Blandón et al., 2014).

La biomasa es básicamente una fuente de energía solar almacenada por las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis. El término biomasa por lo tanto, cubre una amplia gama de materiales orgánicos producidos a partir de plantas y animales, las fuentes de biomasa más importantes son, los residuos de los cultivos agrícolas, los de los procesos forestales, los residuos del procedimiento de la madera, desechos animal (incluido los residuos humanos), residuos sólidos urbanos (RSU), desechos de procedimientos de alimentos, los cultivos realizados exclusivamente para su aprovechamiento energético y los bosques de corta rotación.

Al utilizar la biomasa como combustible en cualquiera de sus formas (sólida, líquida o gaseosa), se emite dióxido de carbono, agua y se desprende para su aprovechamiento, la energía química almacenada como energía térmica y eléctrica (Rincón y Silva., 2014).

Durante el almacenamiento de la biomasa en medio anaeróbico hay descomposición y generación de biogás el cual contiene alrededor de un 50% de metano, que es un gas de efecto invernadero 21 veces más potente que el dióxido de carbono. Por esto, la transformación de la biomasa almacenada es vital para contrarrestar la generación de este gas de efecto invernadero (Witey y Sons, 2009).

El mercado de biogás es también importante en Europa. En Alemania representó alrededor del 61% del total del gas consumido como energía primaria en 2010. En 2011 la producción energética europea se situó en los 10,1 millones de toneladas, equivalentes de petróleo a nivel europeo, equivalente a la mitad de la energía de los biocombustibles (Witey y Sons, 2009).

b. Biodigestor

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, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero 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 fuertemente el rendimiento de las cosechas (Bouallagui *et al.*, 2003)

Los biodigestores han de ser diseñados de acuerdo a su finalidad, a la disposición de ganado y tipo, y a la temperatura a la que van a trabajar. Un biodigestor puede ser diseñado para eliminar todo el estiércol producido en una granja, o bien como herramientas de saneamiento básico en una casa. Como se comentó anteriormente, el fertilizante líquido obtenido es muy preciado, y un biodigestor diseñado para tal fin ha de permitir que la materia prima esté mayor

tiempo en el interior de la cámara hermética, así como reducir la mezcla con agua a 1:2 (Vélez, 2015).

La temperatura ambiente en que va a trabajar el biodigestor indica el tiempo de retención necesario para que las bacterias puedan digerir la materia. En ambientes de 30 °C se requieren unos 10 días, a 20 °C unos 25 y en altiplano, con invernadero, la temperatura de trabajo es de unos 10 °C de media, y se requieren 55 días de tiempo de retención. Es por esto, que para una misma cantidad de materia prima entrante se requiere un volumen cinco veces mayor para la cámara hermética en el altiplano que en el trópico (Al-Dahhan *et al.*, 2005).

Cuando un biodigestor se instala se realiza su primer llenado con gran cantidad de estiércol y agua, hasta que el lodo interior tape las bocas de las tuberías de entrada y salida para asegurar una atmósfera anaerobia. Es importante hacer un seguimiento posterior, puesto que el biodigestor tardará tantos días como tiempo de retención se haya considerado para entrar en plena producción de biogás y fertilizante (Beltrán *et al.*, 2013).

c. Digestión anaerobia y sus productos

La digestión anaerobia 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 componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa. La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este

tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas. Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología (El-Mashad *et al.*, 2006).

Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para poder producir biogás como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias (Li Sun *et al.*, 2013). El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70% (Magaña-Ramírez *et al.*, 2006).

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación (Egido y Camino, 2008). La actividad metabólica involucrada en el proceso metano génico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el

grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa (Carrillo, 2003).

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas (Egido y Camino, 2008).

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar en cierto equilibrio con sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo, en la digestión de ciertos desechos industriales pueden presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico (Orrico, 2007).

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, fermentado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina. En lo atinente a estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y de la alimentación que hayan recibido los mismos (Valencia y Ramírez, 2009).

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados. Como norma se

deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas (Tsai y Lin, 2009). En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso, tipo de alimentación y manejo de los mismos. Cuando se toma un proyecto específico se recomienda realizar una serie de mediciones en el lugar donde se ubicará el digestor (Ferrer *et al.*, 2011).

En México la generación de energía a partir de la biomasa es muy importante y requiere una investigación más exhaustiva, sobre todo porque el petróleo, un combustible no renovable, es la principal fuente de energía en el país. La biomasa constituida por estiércol de animales y residuos agrícolas, forestales, industriales, de tratamiento de aguas residuales, entre otros, están fácilmente disponibles. La biomasa puede ser la alternativa más adecuada para un máximo de 25% de la energía consumida en el país (Beltrán *et al.*, 2013).

Las industrias lácteas generan residuos de suero de leche que se producen en mayor volumen. Muchas industrias lácteas pequeñas no tienen la capacidad tecnológica para el tratamiento o reutilización del suero de leche (Mockaitis *et al.*, 2006). Además, debido al problema de la alta concentración de sal y la estabilidad del proceso pobre en residuos lácteos, la codigestión de diferentes materiales puede mejorar el proceso de digestión anaerobia, ya que se puede afinar el equilibrio de nutrientes con la fuente de carbono (El-Mashad y Zhang, 2006). El estiércol de cabra contiene aproximadamente 2% de nitrógeno, 3% de fósforo (Orrico *et al.*, 2007) y un porcentaje de conversión en metano de más del 80%. Este estiércol se emplea

en la fertilización y los tratamientos para la producción de metano. También el aserrín, la paja de arroz, el jacinto de agua y otros materiales vegetales con 63 a 67% de metano, se pueden utilizar para el mismo fin (Chakraborty *et al.*, 2002).

La producción de biogás puede verse afectada por factores de operación tales como el tiempo de retención hidráulico (TRH) y el grado de contacto entre el sustrato de entrada y la población de bacterias, el pH, la temperatura, la naturaleza del sustrato, la carga orgánica, demanda química orgánica (DQO), la relación carbono/nitrógeno (C/N) (Al-Dahhan *et al.*, 2005). Los diseños de digestores anaeróbicos son principalmente dependientes del tiempo de retención hidráulica y el tipo de residuos orgánicos. Los reactores empacados de película fija, reactores de lodos granulares de flujo ascendente (UASB), reactores horizontales con deflectores, reactores de flujo pistón, las lagunas cubiertas y los reactores anaerobios con deflectores, son de uso general para la indigestión anaeróbica (Bouallagui *et al.*, 2003).

Biogás

El proceso fermentativo de las bacterias anaerobia comprende una serie de procesos, que interactúan entre sí, en una serie de reacciones metabólicas complejas en ausencia de oxígeno, haciendo parte importante de los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y azufre, entre otros (Schink, 1997). Estos procesos metabólicos se han dividido en 3 grupos o etapas principales: 1) hidrólisis y fermentación, 2) acetogénesis y 3) metanogénesis; la primera etapa del proceso involucra la hidrólisis de sólidos insolubles, es decir partículas orgánicas (celulosa o hemicelulosa) o coloides orgánicos (proteínas), en compuestos solubles simples

que pueden ser absorbidos a través de la pared celular, para que posteriormente, dichas moléculas hidrolizadas sean catalizadas por bacterias fermentativas en alcoholes y ácidos grasos, teniendo como resultado de este proceso, la producción de hidrogeno y dióxido, durante la citogénesis, se produce ácido acético a través de la oxidación de ácidos grasos de cadena corta o alcoholes o a través de la reducción del CO_2 , usando hidrogeno como donador de electrones para la reacción (Schink, 1997). El último paso que corresponde a la metalogénesis, es llevado a cabo por arqueas, las cuales obtienen su energía de la conversión de un numero restringido de sustratos a metano (Almeida *et al.*, 2011).

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia parcial o total de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases, en los cuales principalmente se encuentra el metano y el dióxido de carbono. El producto principal obtenido de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano en una proporción de 50 a 70% y dióxido de carbono (CO_2) de 30 a 50%, con pequeñas cantidades de otros componentes como nitrógeno (N), oxígeno (O_2), hidrógeno (H), sulfuro de hidrógeno (H_2S), estos valores dependen tanto de los microorganismos que se encuentren presentes como del proceso en sí (Schoberth, 2003 y Obaya, 2005).

Los procesos en donde las bacterias anaerobias hacen degradación se llevan a cabo en ausencia de oxígeno (O_2). Los microorganismos trabajan en serie o grupo para degradar la materia orgánica a través de etapas sucesivas, cada una desencadenando la siguiente (Schink, 1997). Los microorganismos anaerobios de importancia clínica obtienen principalmente su energía mediante la utilización de las vías fermentativas, en donde los compuestos orgánicos como los ácidos y

alcoholes, entre otros, sirven básicamente como aceptores finales de electrones (González et al, 2013).

Abonos Orgánicos

La agricultura orgánica es un movimiento que promueve la conversión de los desechos orgánicos procedentes del hogar, la agricultura, mercado, desazolve de drenes, entre otros, en un material relativamente estable llamado humus, mediante un proceso de descomposición aeróbica bajo condiciones controladas, particularmente de humedad y aireación, en el cual participan bacterias, hongos y actinomicetos (Felix-Herrán, 2008).

La calidad del humus dependerá de la materia orgánica utilizada en su producción, teniendo humus con diferentes características fisicoquímicas al igual que microbiológicas, por lo que mientras mayor sea la diversidad de elementos que dan origen a dicho humus mayor será su contenido de nutrientes y de microorganismos. Existen diferentes procesos de producción de humus, están las compostas de superficie, el lombrihumus, el bocashi, el nutribora, y también tenemos ciertos elementos que van a enriquecer ese humus, como son las harinas y los bioles o fermentos, todo esto con la finalidad de tener un humus de mejor calidad y que mejore la fertilidad del suelo (Felix – Herrán, 2008).

La aplicación de materia orgánica humificada aporta nutrientes y funciona como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana, como son: las sustancias húmicas (ácidos húmicos, fúlvicos, y huminas). Que al incorporarla ejercerá distintas reacciones en el suelo como son: A) mejora la estructura del suelo, facilitando la formación de agregados estables con

lo que mejora la permeabilidad de éstos, aumenta la fuerza de cohesión a suelos arenosos y disminuye esta en suelos arcillosos (Tisdale y Nelson, 1966; Guerrero, 1996; Bollo, 1999; Tan y Nopamombodi, 1979, Bellapart, 1996), B) mejora la retención de humedad del suelo y la capacidad de retención de agua (Bellapart, 1996; Bollo, 1999; Tisdale y Nelson, 1966; Guerrero, 1996), C) estimula el desarrollo de plantas (Tan y Nopamombodi, 1979), D) mejora y regula la velocidad de infiltración del agua, disminuyendo la erosión producida por el escurrimiento superficial (Bollo, 1999), E) eleva la capacidad tampón de los suelos (Landeros, 1993; Bollo, 1999), F) su acción quelante contribuye a disminuir los riesgos carenciales y favorece la disponibilidad de algunos micronutrientes (Fe, Cu y Zn) para la planta (Landeros, 1993; Bollo, 1999), G) el humus aporta elementos minerales en bajas cantidades, y es una importante fuente de carbono para los microorganismos del suelo (Tisdale y Nelson, 1966; Guerrero, 1996; Bellapart, 1996; Bollo, 1999).

Otro beneficio de la materia orgánica humificada es su potencial para controlar poblaciones de patógenos del suelo (Hadar y Mandelbaum, 1992; Hoitink *et al.*, 1991). Las bacterias y hongos aislados con actividad antagónica sobre patógenos del suelo encontramos a los siguientes géneros: *Bacillus* spp., *Enterobacter* spp., *Flavobacterium balustinum*, *Pseudomonas* spp., *Streptomyces* spp. entre otros géneros de bacterias y *Trichoderma* spp., *Gliocadium virens*, *Penicillium* spp., entre otros géneros de hongos.

La naturaleza de la materia orgánica utilizada y la densidad de inóculo del patógeno existente en el suelo, son factores que pueden influir sobre el nivel de control de la enfermedad alcanzable por la composta. Por otro lado, los agentes de

biocontrol inhiben o matan a los patógenos en la composta madura y por lo tanto inducen la supresión de la enfermedad. Los agentes de biocontrol en la composta pueden inducir la resistencia sistémica adquirida a los patógenos foliares (Fernández *et al.*, 2005).

4. ANTECEDENTES

Sustentabilidad

En los últimos treinta años el problema ambiental se ha convertido en una de las preocupaciones más constante de nuestra sociedad. Por ello la comisión Brundtland, establecida por la ONU para estudiar la interrelación entre desarrollo económico y la protección al medio ambiente, presento el concepto de desarrollo sostenible como una propuesta para compatibilizar la economía y la ecología, al fin de buscar un crecimiento económico social, justo, ecológicamente viable y de respeto a la naturaleza (Gudynas, 2003).

Históricamente, el desarrollo de la sociedad humana se ha basado en el aprovechamiento de fuentes energéticas primarias del tipo fósil: carbón, petróleo y gas natural. Producto de su uso indiscriminado se ha generado un deterioro ambiental en todos los ámbitos que puede llegar a niveles insoportables si no se toman correctivos oportunos. Evidencias palpables de la degradación del ecosistema mundial son: el calentamiento global, la disminución de la capa de ozono y la lluvia ácida, por lo que la necesidad de desarrollar otras fuentes energéticas que reemplacen los combustibles fósiles es cada vez más apremiante.

Así, la segunda mitad del siglo XX ve el resurgimiento por una parte y el nacimiento por otra de un conjunto de fuentes energéticas armónicas ambientalmente, renovables y/o inagotables, llamadas genéricamente energías alternativas. En la actualidad existe una búsqueda incesante de formas de aprovechamiento de estas energías que sean factibles técnicamente y atractivas

económicamente, dándose un desarrollo importante en los EE. UU y en varios países de la Unión Europea, tales como España, Alemania y Rusia, mientras que en América Latina su progreso es incipiente, sólo destacándose Brasil y México (Posso, 2002).

México abordó la sustentabilidad ambiental en su Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (PND 2007-2012) como la administración eficiente y racional de los recursos naturales para mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras, y consideró que uno de los principales retos que enfrenta como país es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social para alcanzar un desarrollo sustentable, ya que aún está a tiempo de poner en práctica las medidas necesarias para que todos los proyectos, en específico los de infraestructura y los del sector productivo, sean compatibles con la protección del ambiente. Sin embargo, en la práctica el instrumento con el que cuenta para evaluar las alternativas de desarrollo es la evaluación de impacto ambiental (EIA), obligatoria previo a la realización de obras y actividades consideradas en el artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), lo cual no permite influir mucho en la toma de decisiones, debido a que su actuación se limita al último nivel en la planeación del desarrollo, requiriendo su fortalecimiento con la implementación de una herramienta de carácter estratégico que permita evaluar en materia ambiental los instrumentos de planeación de orden superior (Ahumada *et al.*, 2012).

El uso de la biomasa fue la principal fuente energética utilizada hasta los albores de la revolución industrial en el siglo XVIII, a partir de esa época se inició el uso de los recursos fósiles como fuente energética, los cuales se formaron durante el almacenamiento y transformación geotérmica de biomasa durante millones de años. El uso de la bioenergía es diferente en cada país o región, usualmente participa con el 3% en los países industrializados, y se incrementa al 22% en promedio en los países en desarrollo, cuya utilización principal se da en los sistemas de calentamiento y en la cocción de alimentos (MalarEnergi, 2014).

En toda América casi 80 millones de personas depende de la biomasa tradicional para calentarse y cocinar, de la cual la mayoría está ubicada en Centro y Sur América. La falta de acceso a la energía principalmente un problema rural: solo alrededor de 1% de la población urbana carece de energía eléctrica mientras que la proporción rural es 28%. Debido a las limitaciones geográficas la solución más viable, para la mayoría de la población que vive en regiones aisladas, es la generación de energía con fuentes renovables, en especial con biomasa. Esto por ser una energía disponible durante todo el año, confiable y que además se puede combinar con otras energías (Rincón y Silva, 2014).

Biodigestores

Bolivia tuvo experiencias con biodigestores, principalmente en la Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba, en los años 80's y 90's, pero los sistemas desarrollados estaban contruidos de ladrillo y cemento, formando grandes bóvedas

enterradas, lo que encarecía mucho su instalación y por tanto su alcance a la población objetivo más empobrecida. Los límites de esa tecnología era su restringida accesibilidad, ya que sólo salían rentables en grandes instalaciones de ganado (por encima de las 50 cabezas de ganado vacuno), además de que gran parte del país sufre micro terremotos y esto puede dañar la estructura interna de las bóvedas, de forma que se provocan grietas y escapes de biogás. De estas experiencias se acumuló mucha bibliografía y estudios muy interesantes, tanto en diseño como en uso y aplicaciones del biogás y fertilizante líquido producido.

¿Pero que es un biodigestor? 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, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad. El fertilizante, llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero 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 fuertemente el rendimiento de las cosechas (Moscoso-Balansa, 2010)

Los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en Sudamérica, solo países como Cuba, Colombia y Brasil tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores familiares, construidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su

construcción (Botero y Preston 1987). Por ello se consideran una 'tecnología apropiada'.

Este modelo de biodigestor consiste en aprovechar el polietileno tubular (de color negro en este caso) empleado en su color natural transparente en carpas solares, para disponer de una cámara de varios metros cúbicos herméticamente aislada. Este hermetismo es esencial para que se produzca la reacción biológica anaerobias (Botero y Preston 1987). El film de polietileno tubular se amarra por sus extremos a tuberías de conducción, de unas seis pulgadas de diámetro, con tiras de liga recicladas de las cámaras de las ruedas de los autos. Con este sistema, calculando convenientemente la inclinación de dichas tuberías, se obtiene un tanque hermético. Al ser flexible el polietileno tubular es necesario construir una 'cuna' que lo albergue, ya sea cavando una zanja o levantando dos paredes paralelas.

Una de las tuberías servirá como entrada de materia prima (mezcla de estiércol con agua de 1:4). En el biodigestor se alcanza finalmente un equilibrio de nivel hidráulico, por el cual, tanta cantidad de estiércol mezclado con agua es agregada, tanta cantidad de fertilizante sale por la tubería del otro extremo (Herrero, 2007).

En Zamorano, las Empresas Universitarias consumen aproximadamente el 30% de la energía consumida por la institución. A su vez, la unidad de ganado lechero ocupa aproximadamente el 2% del total consumido por dichas empresas. En los meses más bajos del 2009 la unidad llegó a consumir 6,807 Kwh y 9,090 Kwh en los más altos. Los gastos totales anuales en concepto de energía incurridos

para dicha unidad en ese mismo año fueron \$13,656. En el 2009 se instaló un biodigestor experimental en la unidad para estudiar formas de reducir su factura eléctrica.

El biodigestor de la unidad de ganado lechero en Zamorano ha sido establecido con fines académicos y con el objetivo que dicha unidad sea auto sostenible. Sin embargo, la investigación de Medina y Luna (2009) ha demostrado hasta ahora que el sistema no es sostenible para la generación eléctrica. De cualquier modo la generación de energía eléctrica no es la única opción para usar el biogás que se puede producir. El calentamiento de agua para el lavado de herramientas y maquinaria representa 12.9% de su consumo total de energía (Medina y Luna 2009) lo que significan \$1,761. Utilizar el biogás como un método alternativo para esta actividad resulta entonces una acción válida para reducir los costos y el impacto ambiental (Moscoso-Balanza, 2010).

La biodigestión a escala familiar ha sido ampliamente difundida en países como China o India desde el último cuarto del siglo pasado y más recientemente en Nepal (Biogas Support Programme), típicamente en digestores de cúpula fija (tipo chino) o de cúpula flotante (tipo indio). Sin embargo, la complejidad de su construcción y un coste relativamente elevado pueden ser limitantes para su implementación. Los biodigestores tubulares de plástico, de construcción simple y económica, permiten una mayor expansión de esta tecnología (Esquivel et al, 2002).

En Bolivia, en condiciones similares de altitud y bajas temperaturas, ya se obtuvieron resultados satisfactorios en el año 2003 con biodigestores funcionando por encima de los 4000 msnm (Herrero, 2007). Posibles materiales para su

construcción son el polietileno y el PVC (geomembrana), siendo el último más resistente pero también más costoso (Pedraza, et al, 2002).

En el estudio de Spangnoletta (2007), se constata que la mayor parte de los biodigestores instalados en la región de Cajamarca en Perú a finales del siglo pasado se encuentran actualmente en desuso. Se han identificado como barreras para la diseminación de la biodigestión entre las familias rurales: tecnológicas (diseños adaptados a las condiciones climáticas), económicas (inversión no recuperable en términos económicos), sociales (capacitación y apropiación), logísticas (instalación y seguimiento) y políticas (falta de apoyo a tecnologías de pequeña producción).

Buena parte de la población de la zona andina peruana vive por encima de los 3000 msnm, en condiciones climáticas y ambientales severas: escasez de agua, bajas temperaturas, intensa radiación solar y poca productividad de biomasa. La mayor parte de energía se consume en el ámbito doméstico y se basa en el uso de biomasa (leña y estiércol seco), que comporta serios problemas de salud, especialmente en las mujeres, y ambientales. La agricultura es parte de subsistencia y a menudo el manejo de los suelos agrícolas no es sostenible, ya que se ha acortado el tiempo entre rotaciones. En zonas agrícolas periurbanas, a menudo también existe un déficit de servicios y de acceso al agua. En este contexto, la tecnología de los digestores anaerobios puede jugar un papel clave hacia la creación de sistemas agroecológicos que cierren el ciclo de la materia, produciendo a su vez un fertilizante natural y energía renovable.

El coste de los biodigestores de plástico (40 €/ m³) podría ser asumible, al menos parcialmente, por las familias campesinas; siendo su principal inconveniente

su corta vida útil (que se estima alrededor de 5 años) y su potencial contaminante una vez finalizada, lo que hace conveniente buscar aplicaciones para este desecho. Existen ya experiencias con una alta reutilización de los plásticos, por ejemplo, en ensilaje. Además, en un futuro se podrá verificar si el nuevo modelo prefabricado de PVC permite alargar la vida útil (Ferrer et al., 2011).

A nivel financiero, la instalación es más viable si el biogás (> 50 % metano) sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback de 2 años y 8 meses (Spagnoletta, 2007), o cuando permite elaborar productos con valor añadido (quesos, yogures, mermeladas, etc.). En general, las familias se muestran satisfechas con el uso del biodigestor, pero destacan que requiere un esfuerzo de trabajo importante, que el biogás producido es todavía insuficiente, y que la cocción con biogás es más lenta. Por estos motivos, sería necesario mejorar el rendimiento del proceso y el diseño de los quemadores y cocinas de biogás (Ferrer et al., 2011).

Se evaluó el comportamiento operacional de un biodigestor rígido modelo DM1® utilizando como materia prima estiércol de ganado bovino, ya que este tipo de residuo es el de mayor producción en el estado de Chiapas, además de su fácil recolección.

Este tipo de desecho orgánico debido a sus propiedades nutrimentales de carbono y nitrógeno entre otros, es considerado para la producción de biogás y bobona, el primero es un biocombustible que se utiliza como energía útil principalmente para la cocción de alimentos y el segundo como fertilizante orgánico. Se empleó información del último censo agropecuario del Servicio de Información

Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) para conocer la población de ganado en el estado de Chiapas.

Se logró la construcción de un nuevo dispositivo de bajo costo y alta eficiencia, como muestra la producción máxima de biogás de 599 litros en el día 31 con un promedio de 335 litros/día en un lapso de 35 días, en condiciones normales de presión y temperatura (1 atm y 25 °C) el cual estuvo compuesto de 63% de metano y 37% de dióxido de carbono. Durante el proceso de digestión anaerobia el pH se mantuvo en 7.1 como promedio, la concentración de ácidos grasos volátiles totales fue de 2299.5 mg/L, la temperatura interna se mantuvo dentro del régimen mesofílico (28 °C) con una variación a lo largo del día de ± 0.1 °C/hora, lo que influyó favorablemente en la producción de biogás, además este tipo de dispositivo soporta una presión máxima acumulativa de 0.8 PSIG sin sufrir daños en la estructura ni en la tubería (Vélez, 2015).

5. OBJETIVOS

- Evaluación de un biodigestor rígido DM1® en una unidad de producción de bovinos de doble propósito en el estado de Guerrero, México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Generación de energías limpias, mediante un biodigestor rígido DM1® en una unidad de productiva de bovinos de doble propósito en Guerrero, México.
- Evaluación del uso de suero de leche en un biodigestor rígido, a escala de laboratorio
- Estudio bromatológico del abono, biol, orgánico obtenido del biodigestor rígido DM1®

6. JUSTIFICACIÓN

La importancia que tiene la conservación de los recursos naturales ha despertado en la sociedad la búsqueda de soluciones para cuidarlos y recuperarlos con el fin de que sean aprovechados por los seres vivos. El agua es un recurso de vital importancia en la vida del hombre por lo que su conservación debe ser uno de los principales objetivos (Valencia y Ramírez, 2009).

El manejo adecuado de los recursos sin afectar a las generaciones futuras, es un tema de alta importancia ya que el planeta se encuentra en una etapa de su vida crucial ya que el saqueo ecológico y el mal uso de los recursos ha sido parte importante del sobre calentamiento global. Los biodigestores se han vuelto una alternativa eficiente para el manejo de las excretas bovinas, y con ello la obtención de dos productos amigables con el medioambiente que contribuyen a la economía del lugar y el manejo sustentable del mismo (Vélez, 2015).

La evaluación del comportamiento de biodigestores durante el proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás es de gran importancia, debido que al monitorear parámetros tanto ambientales como operacionales, permite tener un amplio panorama de aspectos que intuyen en él, ya que, si no se tiene una evaluación constante, es muy complicado diagnosticar si un biodigestor está operando correctamente (Vélez, 2015).

De acuerdo a Ferrer, et al. (2011) la cuantificación de biogás y metano es necesaria para evaluar el desempeño de los sistemas, mejorar la producción de biogás y reducir los costos de capital. La mayoría de las investigaciones sobre este

proceso, son realizados a nivel laboratorio, es decir, en condiciones ideales para que la digestión anaerobia se lleve a cabo satisfactoriamente y con volúmenes de trabajo muy pequeños, ya que su enfoque principal está en estudiar, por ejemplo, el comportamiento de la comunidad bacteriana (Li Sun y Schnürer, 2013),., temperaturas específicas, comportamiento del biodigestor con residuos orgánicos solos o en codigestión, etc.

Se ha demostrado que en la producción de biogás intuye el tipo y la concentración de desechos orgánicos, la temperatura interna, relación carbono/nitrógeno, pH, el tiempo de retención hidráulica (TRH), velocidad de la carga orgánica (OLR), entre otros. Algunos efluentes de la Industria Lechera forman parte de los agentes más contaminantes y severos que existen, tal es el caso del suero de leche, un subproducto de la manufactura de quesos, caseína, caseinatos y mantequilla, que representa del 80 al 90 por ciento del volumen del lácteo transformado por la industria lechera y que para su tratamiento biológico demanda una elevada cantidad de oxígeno (Carrillo, 2006).

El 80 % de los agricultores encuestados dependen excesivamente de agroquímicos para sus cultivos, lo que es un mal necesario para muchos de ellos, por este motivo se pretende dar una alternativa a mejorar la calidad del agro elaborando un abono orgánico a base de suero de leche y de la misma manera darle un valor agregado al subproducto de la manufactura quesera (Carrillo, 2006).

La implementación de suero de leche como sustrato adicional en el biodigestor anaeróbico para la producción de biogás y abono orgánico, es de suma importancia ya que gran parte de los productores de ganado bovino son empresas queseras, las cuales producen altas cantidades de suero de leche diarias, las cuales

no cuentan con un manejo ecológico adecuado. El uso de suero de leche en los biodigestores ayudara a mejorar la producción de biogás y al enriquecimiento del biol.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en dos etapas una de ellas fue la transferencia de tecnología la cual se llevó a cabo por medio del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas en colaboración de la maestría en Ciencias Agropecuarias y de Gestión Local de la Universidad Autónoma de Guerrero, en la que participaron investigadores de ambas instituciones en la cual se implementó un biodigestor rígido MD1® el cual se instaló en el rancho “El Trébol”.

El rancho cuenta con 150 cabezas de ganado bovino de doble propósito, es una agro empresa ubicada en la comunidad del Piedras Negras, municipio de Pilcaya, Guerrero, se localiza en la parte norte del estado; entre los paralelos 18°42"00" y 18°46"00" de longitud norte y los 99°30"00" y 99°44"00" de longitud oeste, meridiano de Greenwich. Colinda al norte con el estado de México; al sur con el municipio de Tetipac; al este con el estado de Morelos y al oeste con el estado de México.

a. Implementación de un biodigestor DM1® en el rancho “El Trébol”

El biodigestor se construyó de acuerdo al modelo DM1® (Figura 1) con capacidad de 1100 litros, diseñado por el Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables, de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, comprende la entrada de la materia orgánica, la salida de bioabono y biogás, diferentes sensores (presión y temperatura) con sistema de agitación manual.

Para la ubicación del biodigestor se consideró un lugar soleado y cercano al establo para facilitar su operación, el costo total de instalación es de \$45,000.00 (Cuarenta y cinco mil pesos 00/100 M.N.).

Se construyó una estructura de concreto con una tarina de 70 cm de alto con 50 cm de diámetro y dos fosas de 1.50 m de diámetro por 1.80 m de profundidad y 80 cm de diámetro y 70 cm de profundidad, en el primero se coloca el tanque de llenado, en el segundo el de fermentación o reactor y el tercero funciona como colector de biol (Figura 2) conectados, del primero al último (Figuras 3, 4 y 5).

En el llenado se verifica la limpieza del estiércol, se mezcla con agua y se llena el reactor al 85% del volumen total. A partir de ese momento se agita diariamente durante 20 días, el proceso digestivo se deja de 20 a 35 días para obtener biogás y abono orgánico (figura 5).

Se realizó la recarga a los 32 días cuando la producción de gas empieza a descender, así se obtuvo los “lodos” (abono orgánico) el cual se recolecto en el recipiente de salida posteriormente se almaceno en bidones de PEAD de 100 litros para su reposo (figura 6).

b. Uso de suero de leche con estiércol bovina en biodigestores rígidos DM1® en modelo de laboratorio

La segunda fase se llevó a cabo en el Taller de prototipos del Instituto de Investigación e Innovación de Energías Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. De acuerdo a la literatura de operación del biodigestor rígido

DM1®, se construyeron cuatro biodigestores en modelo de laboratorio con los mismos principios, los cuales se utilizaron para evaluar el uso del suero de leche como sustituto del agua en la digestión del estiércol bovino, y analizar el comportamiento de los parámetros de temperatura, presión y pH, ya que la producción de biogás y bioabono requieren de condiciones anaerobias adecuadas para una óptima producción.

La construcción de los biodigestores se realizó de manera artesanal, se cotizaron y compraron los materiales (Tabla 1), que se utilizaron para la construcción (Figura 7). Ya que se tomaron en cuenta las condiciones que lo hacen diferentes a los demás, se verifico que las condiciones operacionales fuesen las adecuadas. Se utilizó un tambo cilíndrico a la inversa en el cual se perforaron la base, la tapa y los costados del cilindro, con un cortador de 2" redonda con la ayuda de un taladro. En las partes perforadas se colocaron dos conectores un hembra y un macho de 2" PVC sanitaria para cementar, con un empaque que se hizo con cámara de llanta para evitar fugas. El cual se pegó con silicón para altas temperaturas y centro azul para PVC (Figura 8).

Las perforaciones laterales una es para la entrada de los lodos y otra para la salida en las cuales se colocaron a una de ellas se le adapto un reductor de 2" a 4" PVC sanitario para cementar y en la otra una válvula de esfera para de 2" PVC sanitario. Para la parte interior se construyó el sistema de agitación con los mismos principios del modelo DM1®, el cual fue elaborado con tubo sanitario de 1 ½" PVC (Figura 9).

En la base del cilindro se realizaron dos perforaciones más de 1/2" en las cuales se colocaron la salida de los gases y el sistema de medición de temperatura utilizando bridas, tubo de CPVC DE 1/2" una válvula de esfera de 1/2" de CPVC, un conector hembra de 1/2" de CPVC, un conector tipo "T" de 1/2" de CPVC en cual se le conecta el sistema de medición de gases (Figura 10).

Posteriormente se construyeron los otros tres biodigestores en serie con las mismas condiciones operacionales del primero y del modelo original (Figura 11). Se verifico que los dispositivos no tuvieran ningún tipo de fuga para ello se les inyectó aire con una compresora de 2 HP, visible con colocando espuma jabonosa en las partes convenientes (Figura 12). Para ponerlos a funcionar se recubrieron de poliestireno y hule negro para mantener la temperatura dentro de los reactores (Figura 13).

Llenado de los Biodigestores

El estiércol que se utilizó fue recolectado en la granja de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Autónoma del Estado de Chiapas, y el suero de quesería de la comunidad de Jericó, Chiapas. Se obtuvieron 60 kg de estiércol de ganado bobino y 50 litros de suero de quesería, los cuales se utilizaron a distintas formulaciones (Tabla 2).

Tabla 2. Formulación de sustratos para los tratamientos con uso de suero de leche.

Tratamiento	Agua (Litros)	Estiércol (Kg)	Suero de leche (Litros)
Testigo	28	15	0
T1	21	15	7
T2	14	15	14
T3	7	15	21

La elaboración de los sustratos se realiza fuera de los reactores, de acuerdo a las diferentes proporciones utilizadas en el experimento.

Se mezcla homogéneamente para evitar grumos, se verifica que no contenga piedras u otro material que pueda afectar en su operación del sistema.

Se verifica que la válvula de salida estuviera abierta, para lograr por completo el sello hidráulico.

Se llena a una capacidad de 80 %, para que tenga cupo el pre-almacenamiento de biogás (Figura 14).

c. Medición de los parámetros operacionales del biodigestor DM1® modelo de laboratorio con uso de suero de leche

Se midió la temperatura, pH, presión y el gas, de acuerdo con los siguientes métodos, materiales y equipos.

Monitoreo de Temperatura

Se utilizaron cinco termopares tipo K (Figura 16), con un error de $\pm 0.75\%$, para medir la temperatura de la materia dentro de los reactores y la temperatura ambiente, y para adquirir los datos se utiliza un *data logger* USB-TEMP-AI (Figura 17), el cual se conecta por medio del cable USB a una laptop para la visualización de las gráficas.

En la parte superior del reactor se coloca la válvula de esfera de $\frac{1}{2}$ " de CPVC en la que se conecta una manguera amarilla de plástico flexible dentro de los reactores, la cual permitirá introducir el termopar para medir la temperatura dentro de los reactores, el otro termopar permanece fuera de los reactores para medir la temperatura ambiente.

Monitoreo de Presión

Es de vital importancia medir la presión dentro de los biodigestores ya que si sobrepasa la presión podrían provocar daños en la estructura y tubería de los reactores, incluso podría llegar a reventar el sistema por la acumulación de biogás en el interior, para este monitoreo se utiliza el *multitec 540* (Figura 18).

Monitoreo de pH

Para garantizar la reproducción de las bacterias se necesita un pH relativamente neutro, además el pH es un indicador de la estabilidad del proceso.

Se utilizó un pH-metro marca *sanxin* (Figura 19), con exactitud de medición de ± 0.002 , las muestras de tomaran en vasos de plástico de 250 ml en el cual se colocará el pH-metro de modo que el electrodo quede sumergido en el sustrato, se realizan tres mediciones para así obtener el valor.

Medición de biogás

Para que la combustión del biogás sea el adecuado se requiere que cuente con presencia de metano así que se realizó el análisis de la composición de los gases utilizando un analizador de gases portátil *Multitec 540* (Figura 18), este equipo mide simultáneamente la composición de cinco gases ya que cuenta con sensores infrarrojos para medir el metano y dióxido de carbono y sensores electroquímicos para medir otros gases.

Este analizador se conecta a una válvula por medio de una manguera flexible que esta acoplada a un filtro de humedad y un adaptador que ya están incluidos en los accesorios del equipo, la válvula controlara el flujo de entrada y salida del biogás y se colocara lo más cercano de los reactores para tomar las medidas correspondientes. Las mediciones se realizan del día 10 al 15 posteriormente al llenado

8. RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de las dos fases. La primera fase se muestra cómo se instaló y se le dio un manejo según la literatura citada, obteniendo dos productos amigables con el medio ambiente que son el biogás y abono orgánico los cuales fueron evaluados y comparados con algunos autores.

a. Producción del biogás y estudio bromatológico del abono orgánico

La producción de biogás inicia de los 14 a 21 días, se obtuvo un promedio 500 litros de biogás por día teniendo una variación entre 623 a 89 litros de biogás en los siguientes 14 días, en los que se realizó la evaluación de producción máxima y mínima sin nueva carga, posteriormente se realizó una recarga del 10% de la carga inicial, a los 35 días después de la primera, que fue de 200 litros de mezcla (150 litros de agua y 50 kg de estiércol), para estabilizar la producción de biogás por encima de 500 litros por día.

Después del proceso de digestión y evaluación del gas se realizó una carga a los 35 días con la cual se obtuvieron 200 litros de abono orgánico, el cual se dejó reposar 15 días ya que el abono orgánico necesita un proceso de oxidación para fortalecer los nutrientes que contiene.

Posterior al reposo de 15 días, se separó la materia líquida de la sólida mediante sistema de colado, se tomó una muestra del abono orgánico líquido (biol),

en una botella limpia de 600 ml (Figura 20) y se le realizó el análisis bromatológico (Tabla 3).

Tabla 3. Composición bromatológica del biol del Biodigestor Rígido Modelo DM1® instalado en el rancho “El Trébol”

Características	Biol de Biodigestor
Humedad (%)	97.5
pH	7.44
Materia orgánica	1.6
N total (%)	0.1
P (%)	0.4
K (%)	0.22
Ca (%)	0.09
Mg (%)	0.03
Zn (ppm)	10.6
Mn (ppm)	16.7
Fe (ppm)	39.3
Relación C/N	9.08

El análisis en los laboratorios “Fertilab”

b. Medición de parámetros operacionales de los biodigestores rígidos DM1® modelo de laboratorio con uso de suero de leche

Los biodigestores tienen una capacidad de 50 litro, de los cuales se llena el 80%, cada uno con diferente formulación como se muestra en la Tabla 2.

De forma general el biodigestor está conformado por diferentes subsistemas. 1) Sistema de transformación de materia orgánica, también conocido como biodigestor

en donde ocurre las reacciones fundamentales que permiten la producción de biogás y abono orgánico. Estos dispositivos son colocados con la tapa hacia abajo para evitar la fuga de gases.

Del modelo original del biodigestor rígido DM1®, se tomaron en cuenta los principios básicos que lo hacen diferente al resto de los biodigestores, el cual cuenta con un sistema de agitación el cual mantiene la mezcla homogéneamente y mejora la producción. Se cubrieron de poliestireno de copolímeros y hule negro para mantener una temperatura constante y, se acondicionaron los elementos de medición necesarios para evaluar los parámetros operacionales de cada uno de los biodigestores.

Comportamiento de la temperatura

La temperatura en el interior de un biodigestor es un parámetro esencial para que los microorganismos se activen y se mantengan en condiciones adecuadas para realizar su trabajo. La temperatura a pesar de tener una variación constante en el medio ambiente, los biodigestores mantenían la temperatura dentro del rango en el que los microorganismos se activan (Figura 21).

Comportamiento de la presión

La precisión de los biodigestores vario ya que cada uno de ellos fue llenado con diferente formulación en la mezcla, la presión es un parámetro muy importante,

nos permite monitorear el proceso de fermentación. Conforme transcurren los días la presión aumenta (Figura 22). Lo que indica que la producción es óptima.

Comportamiento de pH

Para la medición del pH se utilizó un pH-metro con características adecuadas (Figura 19). Como se puede apreciar en la tabla, los valores que se tomaron al llenar los biodigestores fueron ácidos, por lo tanto, se le agregó bicarbonato (NaHCO_3) para así neutralizar la fórmula.

Este proceso se realizó en el laboratorio tomando una muestra de cada tratamiento en un vaso de plástico de 250 ml se tomaron 200 ml de muestra (Figura 23), a la cual se le agregó bicarbonato (NaHCO_3) de sodio para así poder estabilizar la reacción a un pH neutro (Tabla 6).

Composición del biogás

El analizador de gases multitec 560 (Figura 18), permite estudiar 4 gases simultáneamente, metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) y sulfuros (H_2S). Después de diez días de la carga se tomó la primera medición para analizar el proceso de producción de metano (CH_4), (figura 24).

c. Bromatológico del abono orgánico con suero de leche

A los 15 días después de la obtención y separación de los lodos (abono orgánico), se mandó a analizar la muestra del tratamiento tres (T3), ya que se le

agrego más suero de leche y bicarbonato de sodio a comparación de los demás tratamientos, se extrajo y se dejó oxidar 15 días y se tomó una muestra de 600 ml la cual se envió a Laboratorios de “fertilap”, la tabla 4 muestra los resultados de las características más relevantes del abono orgánico.

Tabla 4. Composición bromatológica del abono orgánico (biol), con suero de leche (T3)

Características	Biol de biodigestor con suero de leche
Humedad (%)	97.3
pH	7.66
Materia orgánica	1.79
N total (%)	0.06
P (%)	0.02
K (%)	0.10
Ca (%)	0.10
Mg (%)	0.04
Zn (ppm)	1.36
Mn (ppm)	1.44
Fe (ppm)	11.8
Relación C/N	18.0

9. ANÁLISIS

El uso de biodigestores, está siendo parte importantes para las explotaciones ganaderas y agrícolas, ya que representa una manera sustentable del manejo de los desechos que generan, al disminuir la generación de los gases de efecto invernadero, la desforestación y la erosión de los campos de cultivo.

En la segunda fase se realizan la evaluación de los parámetros operativos de los biodigestores rígidos DM1® en modelo de laboratorio, al igual que sus productos que son el biogás y abono orgánico los cuales se compararon con los productos de la primera fase. Los cuales en conjunto contribuyen al cuidado del medio ambiente, al buen uso de los recursos naturales, contribuyendo al desarrollo sustentable de la unidad productiva de bovinos.

a. Sustentabilidad

A partir del conocimiento sobre las necesidades de utilizar la bioenergía para el mejoramiento de las condiciones ambientales causadas por el uso de combustibles fósiles (emisiones de monóxido y de material particulado), también es importante masificar su utilización con el fin de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, por lo cual amerita evaluar las diferentes rutas de conversión de la biomasa con el fin de tener principios de selección de las tecnologías apropiadas para su aplicación en determinada región (Rincón y Silva, 2014).

La biomasa tradicional, utilizada principalmente para cocinar y calefacción en zonas rurales de los países en desarrollo, representa aproximadamente el 85% del total de energía final, la biomasa representa más del 10% del suministro mundial de energía primaria y es la cuarta fuente más grande del mundo de la energía (después el petróleo, el carbón, y el gas natural (Witer y Sons, 2009)

La región de América Latina y el Caribe cuenta con suficiente potencial de fuentes de energía renovables sostenida, que le permite cumplir con los objetivos establecidos por las Naciones Unidas en la iniciativa *Sustainable Energy for All* (SE4ALL por sus siglas en ingles), que busca alcanzar en el 2030 tres objetivos: Acceso universal a los servicios de energía moderada, duplicar la participación de las fuentes renovables de energía en la matriz energética global, y duplicar la implementación de proyectos de eficiencia energética (Rincón y Silva, 2014).

b. Producción de biogás en el biodigestor rígido modelo DM1®

El empleo de excretas generadas en las explotaciones bovinas para la generación de energías limpias mediante un digestor permite eficientizar, económica y ambiental, la producción de la misma. Si se estabiliza la producción de biogás por encima de 500 litros por día, cantidad mínima necesaria para 2 o 3 horas de cocción de alimentos en una cocina doméstica en zonas rurales cuyo consumo se estima en un intervalo de 130-170 litros por hora (Vélez, 2015).

Representa un impacto económico y ambiental importante, en vista a la disminución de leña o gas LP en los hogares o explotaciones ganaderas y mejor eficiencia productiva al disminuir los costos de producción y disminuir la cantidad de

excretas desechadas al ambiente, así como el daño que se provoca en la salud por la inspiración del humo. Hipotéticamente si se vendieran 500 litros de biogás a diez y ocho pesos por litro se obtendrá un ingreso de \$9000.00 (Nueve mil pesos 00/100 M.N.), que representa el 200% de la inversión por la instalación del biodigestor.

c. Análisis bromatológicos del biol obtenido por el biodigestor rígido modelo DM1®

El abono orgánico que produce el biodigestor presenta una composición bromatológica parecida a los abonos obtenidos por diferentes métodos (composta, lombri-composta, etc.), aproximadamente el 90% la materia que entra al biodigestor se convierte en abono orgánico, en la tabla 5, se muestra las diferentes composiciones de 7 tipos de abonos orgánicos, los cuales muestran la cantidad de materia orgánica que contiene, al igual que sus propiedades físicas y químicas (Aparca y Jasen, 2008).

El abono obtenido del biodigestor cuenta con todos los nutrientes necesarios para la producción de verduras, frutas, plantas y granos ya que favorecen las características físicas del cultivo como son: estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados (Trinidad, 2012).

Tabla 5. Composición bromatológica de diferentes tipos de abonos orgánicos.

Características	Tipos de abono orgánico						
	Vacuno	Gallinaza	Vermi-Composta	Composta	Pulpa de Café	Paja de arroz	biodigestor (biol)
Humedad (%)	36						97.5
PH	8	7.6	7.6	7.7	5.8	7.2	7.44
Materia Orgánica	70	70			89.6	7.7	1.6
N total (%)	1.5	3.7	1.1	2.1	1.68	0.5	0.1
P (%)	0.6	1.8	0.3	1.1	0.35	0.05	0.4
K (%)	2.5	1.9	1.1	1.6	0.36	1.38	0.22
Ca (%)	3.2	5.6	1.6	6.5	0.5	0.22	0.09
Mg (%)	0.8	0.7	0.5	0.6	0.64	0.11	0.03
Zn (ppm)	130	575	100	235			10.6
Mn (ppm)	264	500	403	265			16.7
Fe (ppm)	6354	1125	10625	3000			39.3
Relación C/N	16	15	19	15	3090	949	9.08

(Trinidad, 2011)

Con el uso de abono orgánico se obtienen beneficios ambientales, sociales y económicos, ya que su uso disminuye la degradación de los suelos y la contaminación de los matos friáticos, obteniendo alimentos libres de químicos dañinos para la salud, eliminando focos de infecciones tanto con el uso de los agroquímicos como la producción excesiva de las excretas de ganado bovino, ya que con estas se obtiene el abono orgánico y ello disminuir los costos de producción (Valencia, 2015).

d. Monitoreo de los parámetros operacionales de los biodigestores rígidos modelo DM1®, modelo de laboratorio.

Comportamiento de la temperatura

En la Figura 21 se muestra que, a pesar de las fluctuaciones de la temperatura ambiente, las condiciones dentro de los biodigestores se encuentran constantes durante todo el día ya que por la noche tiende a descender. Las temperaturas internas mantienen un equilibrio de 27°C como promedio, predominando el régimen meteorológico (25-40°C), con variaciones promedio de $\pm 0.1^\circ\text{C}$ en un periodo de 24 horas. La temperatura máxima fue de 27.4°C y la mínima de 26.6°C, siendo este valor un promedio de la temperatura de los cuatro biodigestores.

De acuerdo a Hilbert (2006), la sensibilidad de las bacterias mesófitas es de $\pm 1^\circ\text{C}$ por hora, es decir, que no debe haber variaciones de la temperatura interna de $\pm 1^\circ\text{C}$ ya que si estas variaciones son bruscas en un intervalo de tiempo relativamente corto las bacterias disminuyen su población, y asimismo se reduce la producción de biogás.

Además, Weiland (2010), menciona que es importante mantener una temperatura constante durante el proceso de digestión, dado que los cambios de temperatura afectan la producción de biogás. Las bacterias mesófilas toleran fluctuaciones de 3°C sin reducciones significativas en la producción de metano. A su vez Chae et al. (2008), llegaron a la conclusión que cambios bruscos de

temperatura de 35 a 30°C y de 30 a 32°C da como resultado una disminución en la producción.

Comportamiento de la presión

La presión es un parámetro importante que nos permiten detectar desde que momento empieza la producción de biogás al igual es un indicativo de que los reactores no tengan ninguna fuga. La figura nos muestra que la presión fue aumentando durante transcurrieron los días alcanzado una presión optima de operación como lo menciona Vélez (2015), ya que el modelo DM1® alcanza presiones mayores que a las que alcanzan los biodigestores de geomembrana, esto permite una óptima operación y producción de biogás y abono orgánico.

Comportamiento del pH

Los valores que se tomaron al llenado de los biodigestores fueron muy bajos con el uso del suero de leche, a comparación de solo el estiércol y agua este se mantiene neutro (Tabla 6), lo cual nos indica que el suero de leche acidifica la reacción, según Ward et al. (2008), indica que el nivel de pH adecuado para la metalogénesis oscila entre 6,8 y 7,2, Weiland, (2010) afirma que el pH por debajo de 7 inhibe las bacterias metano génicas. Por otra parte, durante la etapa de hidrólisis y acidogénesis los niveles de pH apropiados son 5.5 y 6.5 respectivamente (Azeem et al, 2011).

Al agregar el bicarbonato de sodio se obtuvo un pH neutro, el cual nos dice Vélez (2015), que en el biodigestor rígido DM1® fue considerado el nivel de pH óptimo para su operación, que de acuerdo a Buekens, (2005), el rango de pH aceptable teóricamente es 5.5-8.5. Por lo tanto, los valores promedios obtenidos de pH se consideran aceptables (Tabla 6).

Tabla 6. Interpretación del pH. De acuerdo con Ward et al. (2008).

Valor de pH	Interpretación
7-8	Es proceso estable
<7	Acumulación de AGV
>8	Acumulación de NH ₃

Biogás

El biogás, cuyo principal componente es el metano (CH₄) con alrededor del 50-70%, seguido del CO₂ con 30-40%, además de contener otros gases en menor proporción como el ácido sulfhídrico (H₂S), vapor de agua, monóxido de carbono (CO), entre otros. El biogás tiene un poder calorífico entre 4500 a 5600 kilocalorías por metro cubico (Al-Costa, 2013).

Ya que el uso de suero de leche aumenta la fermentación por el tipo de acidez que presenta, los biodigestores con suero de leche al día 10 ya empezaron a producir biogás, aunque su producción de metano fue muy baja, pero al día 15 como lo dice Vélez (2015), empieza su óptima producción de biogás.

Abono Orgánico

En la búsqueda por reinstalar una racionalidad más ecológica en la producción agrícola, los científicos y promotores han ignorado un aspecto esencial o central en el desarrollo de una agricultura más autosuficiente y sustentable: un entendimiento más profundo de la naturaleza de los agroecosistemas y de los principios por los cuales estos funcionan.

Dada esta limitación, la agroecología emerge como una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que, además, son culturalmente sensibles y social y económicamente viables. Los agroecosistemas son comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado para producir alimentos, fibra, combustible y otros productos para el consumo y procesamiento humano (Corrales et al, 2015).

El diseño de tales sistemas está basado en la aplicación de los siguientes principios ecológicos (Reinjtjjes *et al.*, 1992):

- Aumentar el reciclado de biomasa y optimizar la disponibilidad y el flujo balanceado de nutrientes.
- Asegurar condiciones del suelo favorables para el crecimiento de las plantas, particularmente a través del manejo de la materia orgánica y aumentando la actividad biótica del suelo.
- Minimizar las pérdidas debidas a flujos de radiación solar, aire y agua mediante el manejo del microclima, cosecha de agua y el manejo de suelo a través del aumento en la cobertura.

- Diversificar específica y genéticamente el agroecosistema en el tiempo y el espacio.

- Aumentar las interacciones biológicas y los sinergismos entre los componentes de la biodiversidad promoviendo procesos y servicios ecológicos claves.

Estos principios pueden ser aplicados a través de varias técnicas y estrategias. Cada una de ellas tiene diferente efecto sobre la productividad, estabilidad y resiliencia dentro del sistema de finca, dependiendo de las oportunidades locales, la disponibilidad de recursos y, en muchos casos, del mercado. Hablar de agricultura orgánica no es solo compostas, sino también de la elaboración de fermentaciones, en la que se descomponen aeróbicamente residuos orgánicos, por medio de poblaciones de microorganismos que existen en los mismos residuos, esta descomposición es controlada, y da como resultado un material parcialmente estable que continuará su ciclo de descomposición, pero más lentamente.

Las fermentaciones por lactobacilos son muy limpias, se puede usar como inóculo para bocashi, agua miel, entre otras; el tepache se puede aplicar en el agua de riego, teniendo en cuenta la dosis adecuada (ésta se obtiene a prueba y error dependiendo de cada cultivo) porque si está muy concentrado puede ser un herbicida muy fuerte, pero si está bien diluido ayuda al desarrollo de las plantas. También se pueden hacer fermentaciones de cáscaras de frutas para obtener aminoácidos libres, que también se pueden aplicar en el agua de riego para mejorar el desarrollo de la planta. En sí las fermentaciones disminuyen la carga eléctrica de las soluciones, los microorganismos (levaduras, lactobacilos, entre otros)

transforman los materiales y los dejan en complejos parcialmente estables listos para ser absorbidos por las plantas (Félix-Herrán et al., 2008).

Las plantas fertilizadas orgánicamente no pueden infectarse con bacterias patógenas, porque el calor y la microflora benéfica controlan esas poblaciones patógenas. Además, los ácidos húmicos contenidos en la materia orgánica humificada aumentan la capacidad de retención de agua y la aireación del suelo, mejoran la agregación del suelo y evita su encostramiento. En la planta los ácidos húmicos estimulan el desarrollo de raíces y tallos, mejoran la absorción de nutrientes, estimulan y aumenta la absorción de nitrógeno, entre otros (Félix-Herrán et al., 2008).

En la tabla 7 se muestra la comparativa de los abonos orgánicos obtenidos por los dos tipos de sustratos utilizados en el experimento. En la cual se nota que sus nutrientes son muy similares ya que el proceso digestivo es el mismo y es controlado, es por ello que no les permite a los lodos que su bromatología sea muy diferente. Sin embargo, su composición es apta para ser utilizado en diferentes cultivos foliares.

Tabla 7. Comparación de los abonos orgánicos obtenidos por el biodigestor rígido modelo DM1® y del biodigestor rígido modelo DM1® modelo de laboratorio con la implementación de suero de leche y bicarbonato de sodio T3.

Características	Biol de Biodigestor	Biol de biodigestor con suero de leche
Humedad (%)	97.5	97.3
pH	7.44	7.66
Materia orgánica	1.6	1.79
N total (%)	0.1	0.06
P (%)	0.4	0.02
K (%)	0.22	0.10
Ca (%)	0.09	0.10
Mg (%)	0.03	0.04
Zn (ppm)	10.6	1.36

10. CONCLUSIONES

La implementación del biodigestor en unidades productivas de bovinos contribuye al cuidado del medio ambiente, al utilizar el estiércol como materia prima, que transforma en biogás y abono orgánico (biol), por medio su digestión, con beneficios económicos notables, ambientales y sociales.

El uso del biogás y abono orgánico (biol), en el cultivo y la cocción de alimentos disminuye notablemente el costo de producción, ya que se producen 90 horas de gas que equivalen a \$1,000 00/100 M.N haciendo la comparación con el costo del gas convencional LP y del abono orgánico (biol), se producen 200 litros diarios teniendo un costo en el mercado de \$18.00 00/100 N.M. el litro.

El costo de instalación se recupera en tres meses ya que la producción de abono orgánico (biol), empieza de los 35 a 40 días después de iniciar el proceso digestivo del biodigestor.

Se logró obtener un sistema de biodigestión con los elementos y condiciones necesarias para la transformación de la materia orgánica en un biocombustible de gran utilidad y bioabono como valor agregado. Las evaluaciones sobre el desempeño de este tipo de dispositivo alimentado con estiércol bovino y suero de leche obteniendo los siguientes resultados:

Con la presión de 2.0 PSIG y una temperatura promedio de 27 °C, los biodigestores empezaron a producir biogás demostrando que las condiciones operacionales fueron las indicadas.

Del día decimo después de la puesta a punto del biodigestor, se notó presión dentro de los reactores, eso se debía a que la fermentación anaeróbica ya estaba presente en la reacción.

El suero de leche acidifica la mezcla, ya que el suero de leche es una formula acida así que para optimizar los parámetros de operación es necesario agregarle bicarbonato de sodio, tomando en cuenta que los costos de producción aumentan.

La producción de metano se presenta después de los 15 días de la puesta a punto de los reactores.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada Cervantes Brenda, María Candelaria Pelayo Torres y Arturo Arano Castañón (2012). Sustentabilidad ambiental, del concepto a la práctica, Una oportunidad para la implementación de la evaluación ambiental estratégica en México., *Gestión y Política Pública XXI (2). II SEMESTRE*. Pp. 291-332
- Al-Costa, 2013. Biomasa y biocombustibles. Madrid, 2013. *Renewables Energi*
- Al-Dahhan M.H., Karim, K., Klasson, K. T., Hoffman, R., Drescher, S.R., DePaoli, D.W. (2005), Anaerobic digestion of animal waste: effect of mixing., *Bioresource Technology*, (96):1607-1612
- Almeida A, Nafarrate E, Alvarado A, Cervantes A, Luevanos, Oropeza R, Balagurusamy N (2011). Expresión genética en la digestión anaerobia: un paso adelante en la comprensión de las interacciones tróficas de esta biotecnología. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*; 3(6). Disponible en: <http://www.posgradoeinvestigacion.uadec.mx/AQM/No.%206/3>.
- Aparcana Robles Sandra y Andreas Jansen (2008). German ProfEC professional energy and environmental consultancy. Estudio del Valor fertilizante de los productos del proceso "Fertilización Anaerobia" para producción de biogás BM-4-00-1108-1239.
- Azeem Khalid, Muhammad Arshad, Muzammil Anjum, Tariq Mahmood, and Lorna Dawson, 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31(8):1737 - 1744.
- Bellapart, C. 1996. Nueva agricultura biológica en equilibrio con la agricultura química. Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, España, 298p
- Beltrán Rodríguez Leonardo, Villanueva Arcos Efraín, Robles Linares José María Valenzuela, Sánchez Adán Ricardo, Cordero Lovera Adrián, Calva González Nacxitl. (2013). *Prospectiva de energías renovables 2013-2017*. 2018, de SENER Sitio web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62948/Prospectiva de Energias Renovables 2013-2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62948/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2013-2017.pdf)

- Blandón Navarro, Sandra Lorena; Zelaya Lanuza, Donald Samuel; Arranz Ramírez, Juan Carlos y Zamora Calero, Javier Alberto, (2014). *Evaluación de la producción de biogás a partir de suero lácteo a escala de laboratorio*. El Higo, 4. pp. 29-35. ISSN 2413-1911
- Bollo, E. 1999. Lombricultura, una alternativa de reciclaje. Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, España. 150p.
- Botero R y Preston T R, 1987. Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas: Manual para su instalación, operación y utilización'. CIPAV, Cali, Colombia
<http://www.utafoundation.org/publications/botero&preston.pdf>
- Bouallagui H, Cheikh R.B., Marouani, L., Hamdi, M (2003). Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. *Bioresource Technology*, (86):85-89.
- Buekens Alfonso 2005. Energy recovery from residual waste by means of anaerobic digestion technologies. page 15, Luxemburg. *Energy Recovery from Residual Waste. nutrient content and growth of corn (Zea mays)*. *Plant and soil* 51: 283-287.
- Campero Rivero Oliver. (2012). Sistema integral tratamiento de residuos de granja lechera mediante la biodigestión anaerobia en el Perú. *Desarrollo Local Sostenible Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global*, Vol 5., Nº 14.
- Carrillo José Luis. (2006). *Tratamientos y Recuperación*. México: E. J. Krause de México.
- Carrillo L. 2003. Rumen y biogás, en *Microbiología agrícola*. Ed. Mc Graw Hill-Universidad Nacional de Salta Universidad Nacional de Salta
- Chae K.J., Jang Am, Yim, S.K. and In KimS (2008). The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology*, 99(1):1 :6.
- Chakraborty N Sarkar, G.M., Lahiri, S.C. (2002). Biomethanation of plant materials and agricultural residues using dung samples as wild population of microbes and also with isolated methanogens., *The Environmentalis*, (22): 173-182.

- Corrales Lucia Constanza, Marcela Diana, Romero Antolinez, Bohórquez Macías Johanna Azucena, Corredor Vargas Aura Marcela (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. NOVA; 13 (23): 55-81
- El-Mashad H.M. y Zhang, R. (2006). Anaerobic codigestion of food waste and dairy manure., ASABE Annual International Meeting, Paper Number: 066161.
- Esquivel R R., Méndez y Cazarín M D., Preston T R., Pedraza O G., (2002). Aspectos importantes al introducir biodigestores en explotaciones lecheras a pequeña escala. Livestock Research for Rural Development, Volume 14, Number 3., <http://www.lrrd.org/lrrd14/3/Viey143.htm>
- Félix-Herrán Jaime Alberto, Sañudo – Torres Rosario Raudel, Rojo – Martínez Gustavo Enrique, Martínez – Ruiz Rosa y Olalde – Portugal Víctor, (2008). Importancia de los abonos orgánicos importance of organic manures. Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable, 4 (1): 57-67.
- Fernández, L., Vega O., López P. J. A. 2005. Control Biológico de enfermedades de plantas. Ed. INISAV-BASF. pp: 162-184.
- Ferrer Ivet, Garfí Marianna, Uggetti Enrica, Ferrer-Martí Laia, Calderón Arcadio, and Velo Enric (2011). Biogas production in low-cost household digesters at the peruvian andes. Biomass and Bioenergy, 35(5):1668 – 1674.
- González A, Cuadros F, Ruiz-Celma A, Lopez-Rodriguez F (2013). Energy-environmental benefits and economic feasibility of anaerobic codigestion of Iberian pig slaughterhouse and tomato industry wastes in Extremadura (Spain). Elsevier. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241300254X>
- Gudynas Eduardo. (2003). Ecología, Economía y ética del desarrollo sostenible. Uruguay: Abya-Yala.
- Guerrero, A. 1996. El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa, Bilbao, España. 206p.
- Hadar, Y., y Mandelbaum R. 1992. Suppressive compost for biocontrol of soilborne plant pathogens. Phytoparasitica 20: S113-S116.

- Hernández-Rojas M y Vélez-Ruiz J F., (2014). Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales. temas selectos de ingeniería de alimentos, 8-2, 13-22
- Herrero Marti J 2007: Experiencia de transferencia tecnológica de biodigestores familiares en Bolivia. *Livestock Research for Rural Development. Volume 19, Article #192.* from <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd19/12/mart19192.htm>
- Hilbert Jorge A, 2006. Manual para la producción de biogás. Madrid España. Energías Renovables
- Hoitink, H. A. J., Y. Inbar y M. J. Boehm. 1991. Status of compost amended-potting mixes naturally suppressive to soilborne diseases of floricultural crops. *Plant Dis.* 75: 869-873.
- Landeros, F. 1993. Monografía de los ácidos húmicos y fúlvicos. Tesis, área de hortalizas y flores, facultad de agronomía, Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile. 145p.
- Li Sun, Bettina Müller, and Anna Schnürer (2013). Biogas production from wheat straw: community structure of cellulose-degrading bacteria. *Energy, Sustainability and Society*, 3(1):15, 2013.
- Magaña-Ramírez J. L., Torres, R. E., Martínez, G. M., Sandoval- Juárez, C., Hernández-Cantero, R. (2006). Producción de Biogás a nivel laboratorio utilizando estiércol de cabras., *Acta Universitaria*, Universidad de Guanajuato, México, (16), 2006, pp.27-37.
- MalarEnergi. (2014). Energy Renewable. 2014, de MalarEnergi Sitio web: <https://www.malarenergi.se>
- Medina, I y Luna, J. 2009. Estudio de pre factibilidad para el aprovechamiento del biogás con fines energéticos a partir del estiércol de ganado bovino en la Unidad de Ganado Lechero de Zamorano. Tesis Lic. Ing. Agr. Tegucigalpa, Honduras, Zamrano.35p.
- Mockaitis Gustavo, Ratusznei, S.M., Rodrigues J.A., Zaiat, M., Foresti, E. (2006), Anaerobic whey treatment by a stirred sequencing batch reactor (ASBR): effects of organic loading and supplemented alkalinity., *Journal of Environmental Management.* (79), pp. 198-206.

- Moscoso-Balanza Daniel. (2010). Potencial de la digestión anaerobia en la unidad de ganado lechero de Zamorano. Tesis (Ingeniero Agrónomo) ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA,. 2010. 46 p. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=027605>
- Obaya Lorenzo Y, (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar [revista en internet], 39(1). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oid=223120659006>
- Orrico, A. C. A., Lucas, J., Orrico, M. A. P. (2007), Characterization and anaerobic digestion of goat manure., *Eng. Agríc.*, 2007, 27, (3): 639-647.
- Pedraza, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., Goraldo, L. (2002) Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. *Livestock Research for Rural Development*, 14 (1)
- Pinos-Rodríguez Juan M, García-López Juan C., Peña-Avelino Luz Y., Rendón-Huerta Juan A., González-González Cecilia, Tristán-Patiño Flor (2012) Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Instituto de Investigación de Zonas Desérticas*. Programa Multidisciplinario de Postgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). 78377, Altair No. 200. *Agrociencia* 46: 359-370. 2012.
- Posso, Fausto. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, vol. 7, pp. 54-73.
- Preston, T.R., Rodríguez, L. (2002) Low-cost biodigesters at the epicenter of ecological farming systems. *Proceedings Biodigester Workshop*.
- Rincón Martínez José María y Silva Lora Electo Eduardo. (2014). Bioenergía: Fuentes, Conversión y Sustentabilidad. Bogotá, Colombia: CYTED.
- SAGARPA (2016). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 4to informe de labores 2015.2016

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/254118/CuartoInformeDeL
abores_SAGARPA.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/254118/CuartoInformeDeL
abores_SAGARPA.pdf). Fecha de consulta 12 mayo del 2018

Trinidad Santos Antonio (2012). Abonos Orgánicos. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Subsecretaria de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Posgraduados. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>. Fecha de consulta 20 noviembre 2017

Schink B (1997). Energetics of syntrophic cooperation in methanogenic degradation. Microbiology and molecular biology review, 61 (2). Disponible en: <http://mmb.asm.org/content/61/2/262.abstract>

Schoberth S.M. (2003). Biomethane, production and uses. En John Wiley & Sons. The microbiology of anaerobic digestion. London: Turret-Weatland., p. 61-78.

Souza, C.F., Paim, V.T., Tinoco, I.F., Baêta, F.C. (2006). Methane concentration in biogas produced from dejections of milk goats fed with different diets., ASAE/CSAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE/CSAE, PaperNumber: 064068.

Spagnoletta, S.A. (2007) Viability study for the application of small-size biodigesters in the Andean rural zone of Cajamarca (Peru), MSc. Thesis, Loughborough University. Disponible en: <http://www.upc.edu/grecdh/cas/energia/publicacions.htm>

Tan, K. H. y V. Nopamombodi. 1979. Efect of different levels of Humic acids on the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology, 99(17):7928 {7940.

Tisdale, S. L. y W. Nelson. 1966. Soil Fertility and Fertilizers. Segunda Edición.

Tsai W-T y Lin, Ch-I. (2009)., Overview analysis of bioenergy from livestock manure management in Taiwan., Renewable and Suitable Energy Reviews, (13), 2009, pp. 2682-2688.

Valencia Elizabeth Denicia y Ramírez Castillo María Leticia. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. CIENCIA Y CULTURA, 16, 73.

- Valencia J. J.,(2015) Rentabilidad económica, beneficios ambientales y sociales en el cultivo de caña de azúcar orgánica del proyecto Ebenezer en el municipio de Santander de Quilichao. Facultad de Ciencias Sociales y Economía / Departamento de Economía / Universidad de Valle Colombia. pg. 76. CODIGO: 0034229
- Vélez Laura (2015). Evaluación de los parámetros de operación de un biodigestor rígido modelo DM1® (tesis de Maestría)., Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- Ward Alastair J., Hobbs Phil J., Holliman Peter J., and Jones David L (2008). Optimisation of Weiland Peter (2010). Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4):849-860.
- Weiland Peter (2010). Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4):849{860.
- Witey y John y Sons. (2009). biomass and alternated fuel systems: engineering and economic gade. California E.U.A: T.F. McGoma
- Reijntjes CB, Haverkort y A Waters-Bayer (1992) for the future. MacMillan Press Ltd.,London.
- Egido Miguel A. y Camino Maria (2008). Guía de Normas y Protocolos Técnicos para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Instituto de Energía Sola. Madrit España. CYTED

12. ANEXOS



1. Biodigestor rígido DM1



2. Construcción de la plataforma y fosas para la instalación del biodigestor rígido DM1®



3. Instalación del Biodigestor rígido DM1®



4. Pegado de las partes del Biodigestor regido DM1®



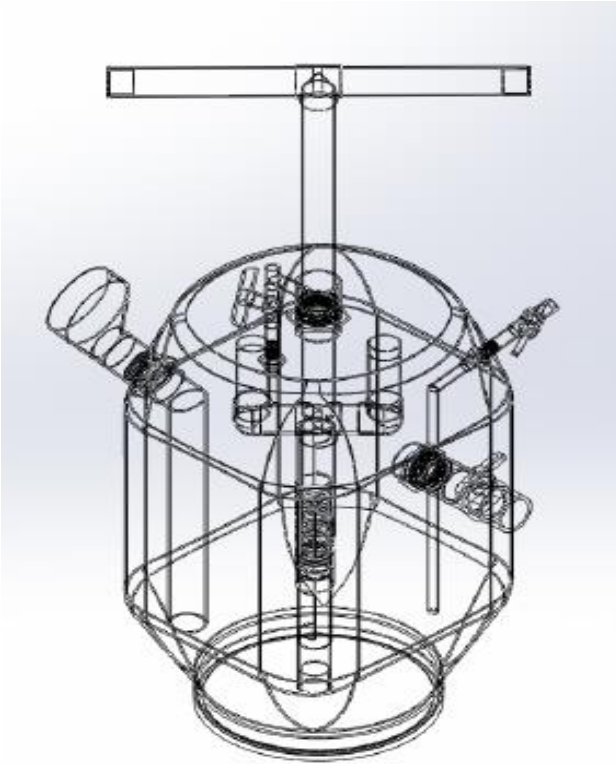
5. Puesta punto del Biodigestor rígido DM1®



6. Obtención del Abono Orgánico (Biol)

Tabla 1. De materiales para la construcción de los Biodigestores rígidos DM1®, modelo de laboratorio

Lista de Materiales			
CANTIDAD	DESCRIPCION	CANTIDAD	DESCRIPCION
20 pz	TEE PVC CEMENTAR SENC. 1-1-2"	6	CODO PVC SANIT. CEM 1-1-2 X 90"
8 pz	CODO PVC SANIT. CEM 1-1-2 X 90"	4 pz	REDUCCION PVC SANIT CEMENT 4 X 2"
4 m	TUBO PVC SANITARIO. 11-2	4 pz	REDUCCION PVC SANIT CEMENT 2 X 1-1-2
4 m	TUBO PVC SANITARIO. 2"	4 pz	COPLE PVC SANIT CEMEN 1-1-2"
12 pz	TAPA PVC SANITARIO CEMENTAR 1-1-2"	4 pz	TAPA PVC SANITARIO CEMENTAR 1-1-2"
4 pz	REDUCCION PVC SANIT CEMENT 2 X 1-1-2"	4 pz	COPLE PVC SANIT CEMEN 4"
16 pz	ADAPTADOR PVC HCO CEM HEMBRA 2" C-40	4 pz	TAPA PVC SANITARIO CEMENTAR 4"
4 pz	REDUCCION PVC SANIT CEMENT 4 X 2"	4 pz	VAVULA ESFERA PVC CEMENTAR 2"
1 l	CEMENTO AZUL P-PVC CONTACT 8OZ 240ML 22	4 pz	TUERCA LOCA LATON 3/8"
16 pz	ADAPTADOR ESPIGA SANITARIO CEM 2"	4 pz	NIPLE TERMINAL DE LATON 3/8"
12 pz	COPLE PVC SANIT CEMEN 1-1-2"	4 pz	REDUCCION BUSHING GALV. 1/2 X 1/4"
1 pz	COPLE PVC SANIT CEMEN	12 pz	ADAPT. CPVC HIDRAULICO HEMBRA 1/2"
0.5 m	TUBO PVC HCO. CEMENTAR 2"RD-26 METRO	12 pz	ADAPT. CPVC HIDRAULICO MACHO 1/2"
4	COPLE PVC SANIT CEMEN 4"	8 pz	VALVULA ESFERA CPVC CEMENTAR 1/2"
1 m	TUBO PVC SANITARIO NORMA 1-1-2 TRAMO	1 m	TUBO PVC SANITARIO NORMA 1 1/2"
12 pz	ADAPTDOR ESPIGA SANITARIO CEM 2"	12 pz	ADAPTADOR GAL-ESPIGASANITARIO 2"
12 pz	ADAPTADOR PVC HCO CEM HEMBRA 2" C-40	12 pz	ADAPTADOR HEMBRA PVC HIDRA.2"
15 pz	TEE PVC SANIT. CEMENTAR SENC. 1-1-2"	15 pz	TE PVC SANT. CEMENTAR 1 1/2"
4 pz	CODO PVC SANIT. CEM 2 X 45"	4 pz	TAPON INSERCIÓN PVC SANITARIO 2"
4 pz	CODO PVC SANTI. CEMENTAR 2" X 45	8 pz	CODO PVC SANTI. CEMENTAR 1 1/2" X 90
4 pz	REDUCCION PVC SANIT. CEMENTAR 4" X 2"	4 pz	REDUCCION PVC SANT CEMENTAR 2" X 1
4 pz	COPLE PVC SANT. CEMENTAR 4"	4 pz	TAPON INSERCIÓN PVC SANITARIO 4"
4 pz	VALVULA ESFER URREA CEMENTAR 2"577	1 pz	CAMARA DE LLANTA
4 m	POLIESTIRENO DE COPOIIMEROS	10 m	DE HULE NEGRO



7. Diseño de un Biodigestor rígido DM1® modelo de laboratorio en 3D



8. Construcción de los biodigestores rígidos DM1® modelo de laboratorio



9. Parte interna de los Biodigestores rígidos DM1® modelo de laboratorio



10. Biodigestor rígido DM1 modelo de laboratorio



11. Construcción en serie de los biodigestores rígidos DM1® modelo de laboratorio



12. Verificación de los Biodigestores rígidos DM1 modelo de laboratorio



13. Puesta a punto de los Biodigestores rígidos DM1® modelo de laboratorio



14. Llenado de los biodigestores rígidos DM1® modelo de laboratorio



15. Termopares tipo K



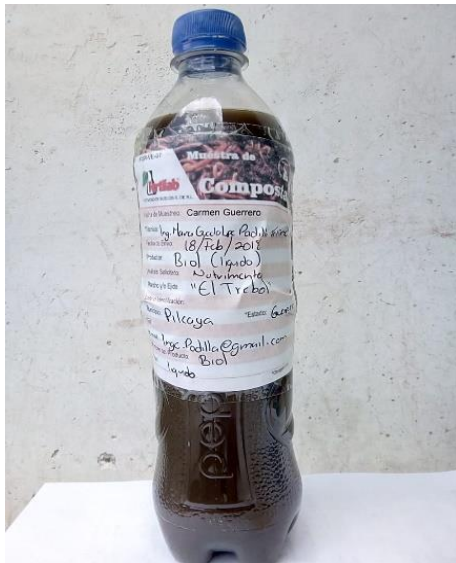
16. Datalogger USB-TEMP-A



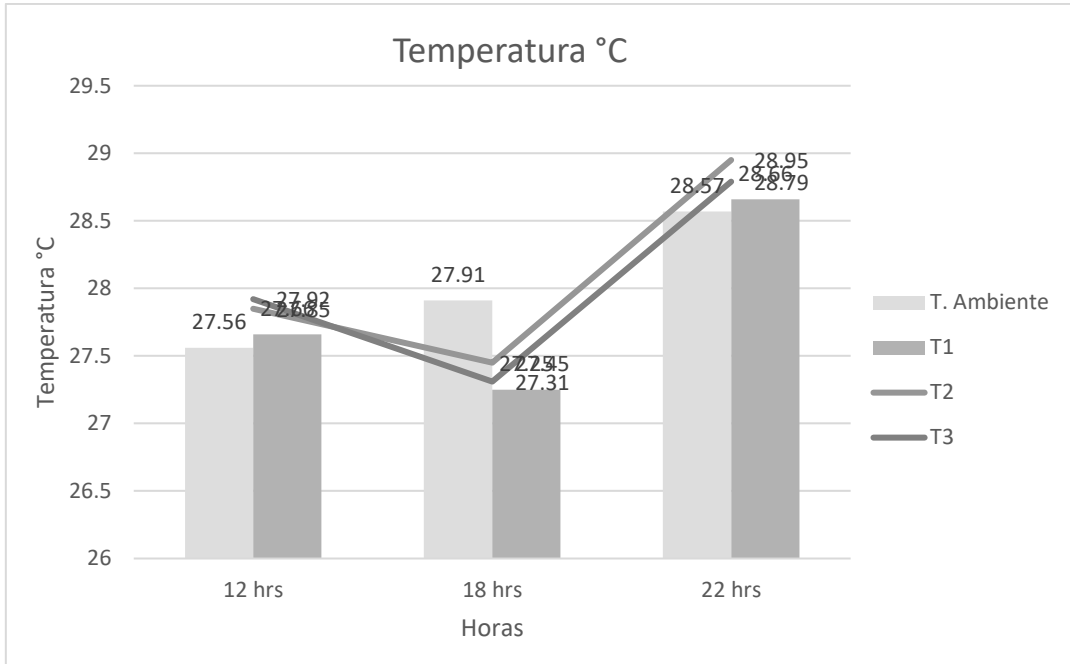
17. Multitec 540



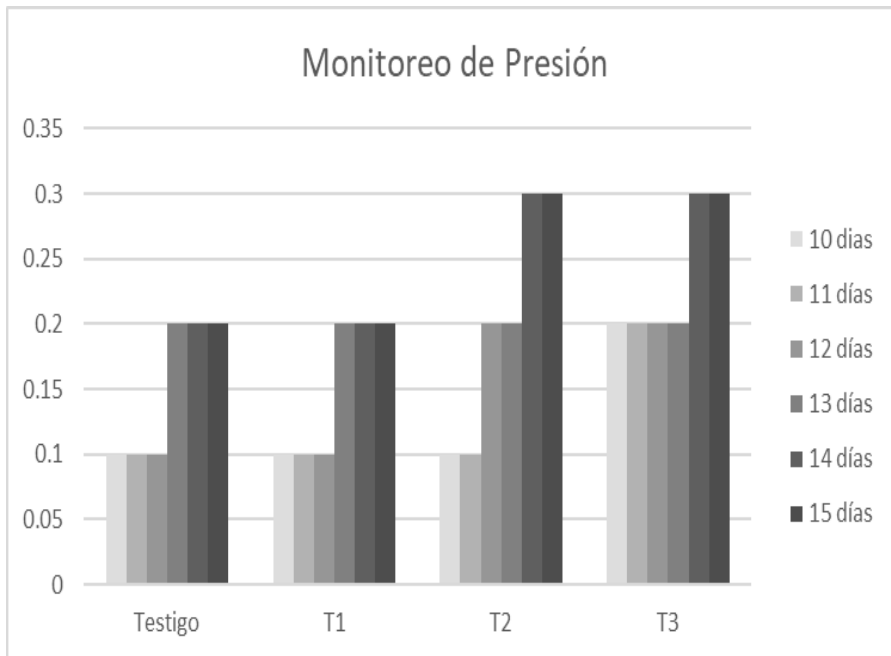
18. Sanxin



19. Muestra de Abono Orgánico (Biol)



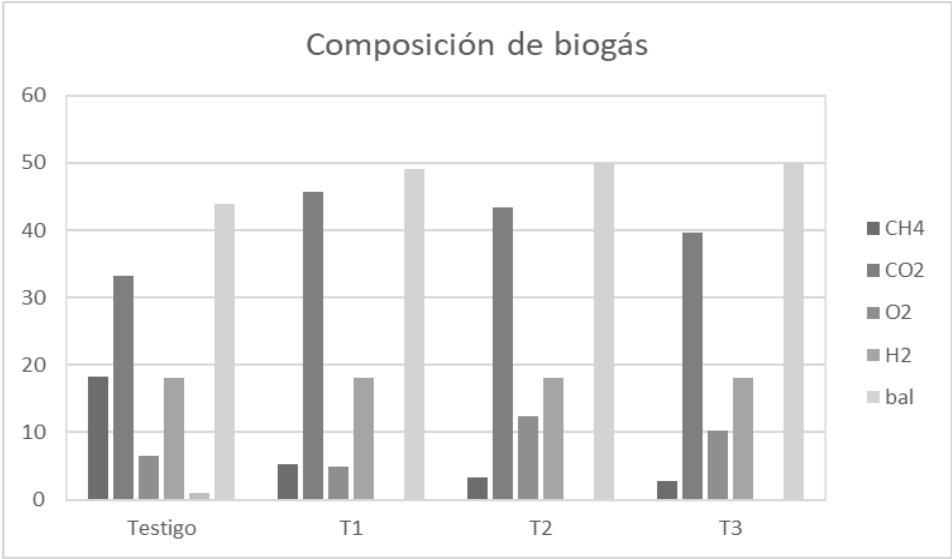
20. Grafica de temperatura °C



21. Grafica de Presión



22. Muestras de los diferentes sustratos



23. Grafica de composición de gases