



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Perfil de trabajo experimental, presentado al H. Consejo Directivo de la  
Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Obtención de biogás utilizando como base el estiércol de ganado vacuno en  
la parroquia La Unión, cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos”

AUTOR:

Allan Arturo Crespo Troya

TUTOR:

Ing. Agr. Ider Alfonso Morán Caicedo, M.Sc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2019

## **DEDICATORIA**

Este logro va dedicado principalmente a Dios por ser una fuente de inspiración, por haberme brindado la dicha de vivir y ayudarme con el proceso y término de este logro.

A mi madre. Delia Isabel Troya Santana, por ser un gran ejemplo de perseverancia, fortaleza trabajo que la caracteriza, por su apoyo incondicional que siempre me ha brindado cada día de mi vida y me lo sigue brindando.

A mi padre Juan Zambrano, a mi esposa Selena Pacheco, y a mi principal pilar de apoyo y por la que he luchado y seguiré luchando mi hija Ellen Aitana Crespo, a mi tía Isidra Violeta Troya Santana, y hermanos Diego y Belén Zambrano por su apoyo, motivación y confianza brindada en los momentos más necesarios de mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar le agradezco a Dios por brindarme salud, sabiduría, fortaleza y bendiciones diarias a lo largo de mi carrera académica.

A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo en la cual he logrado instruirme y alcanzar una meta más en mi vida.

A mi madre Delia Isabel Troya Santana por su amor y apoyo incondicional brindado en mi Vida y por siempre inculcarme los mejores valores humanos.

A mis hermanos Diego Zambrano y Belén Zambrano que de una u otra manera me han apoyado y ser una fuente de motivación para que concluya con mi formación académica.

A mi esposa Selena Pacheco y mi hija Ellen Aitana Crespo Pacheco que por su amor, apoyo y consejos brindados durante mi vida diaria y académica. Han estado junto a mí en las buenas y las malas

Agradecimiento especial a mi director de tesis el Ing. Agr. Ider Alfonso Morán Caicedo, M.Sc. quien ha sido parte fundamental en esta investigación y su gran apoyo para salir adelante en mi formación académica y en este proyecto.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Problema	9
1.2. Objeto De Estudio.	9
1.3. Campo De Acción	9
1.4. Objetivos	9
1.5. Hipótesis	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1. Biodigestor	11
2.2. Condiciones Para Un Biodigestor	11
2.3. Estiércol	11
2.4. Contaminación Por El Estiércol	12
2.5. Acción Del Estiércol En El Suelo	12
2.6. Biogás	13
2.7 Transformación Anaerobia	13
2.8. Etapas De La Transformación Anaerobia	14
2.9. Propiedades Energéticas Del	15
2.10. Uso Del Biogás	15
III.MATERIALESY MÉTODOS	16
3.1. Ubicación Y Descripción Del Campo Experimental	16
3.2. Variables En Estudio	16
3.3. Métodos	16

3.4. Tratamientos	16
3.5. Diseño Experimental	16
3.6. Análisis De Varianza	17
3.7. Dimensiones De Las Unidades Experimentales	17
3.8. Manejo Del Ensayo	17
3.9. Materiales Utilizados Para Armar Los Biodigestores	18
3.10. Colecta De Componentes Orgánicos Para La Producción De Biogás	18
3.11. Preparación De Los Tratamientos	18
3.11.1. Datos A Evaluar.	19
3.11.2. Producción De Biogás	19
3.11.3. Producción De Biol	19
3.11.4. Ph Del Biol	20
3.11.5. Presión De Descarga	20
3.11.6. Registro Del Material Orgánico	20
IV.RESULTADOS	21
V. DISCUSIÓN	26
VI. RECOMENDACIONES	28
VII. CONCLUSIONES	29
VIII. RESUMEN	30
IX. SUMMARY	32
X. BIBLIOGRAFIA	34
ANEXOS.	36

## INDICE DE FIGURAS

4.1. Producción De Biogás	21
4.2. Producción Del Biol	22
4.3. Ph	23
4.4. Presión De Salida Del Biogás	24
4.5 Materia Orgánica	25

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos Utilizados Para La Producción De Biogás

16

## I. INTRODUCCIÓN

Con el pasar del tiempo las diferentes fuentes de energías perfeccionadas por el ser humano resultaron desfavorables, escasas, costosas, peligrosas, y en otra fuente de contaminación, a través de diversos estudios e investigaciones para contrapesar el aumento del quebranto del ambiente, basándose en la utilización de recursos naturales. Por lo tal una alternativas es sacar provecho de la transformación anaerobia de desechos orgánicos por con la construcción de un reactor, en el cual se utilizara el estiércol del ganado como materia prima para la producción de biogás y biofertilizantes, reduciendo de esta forma la acumulación de la materia orgánica depositados en los suelos (Tsapekos et al. 2017).

La provincia de Los Ríos, es ganadera en su mayoría y sobre todo en el sector rural, en donde muchas familias se dedican a esta actividad, donde tienen presente el problema de la acumulación de esta materia orgánica en sus fincas y ranchos, trascendiendo concisamente al ambiente y generando la proliferación de situaciones que afectan al ganado y la salud de las personas, este problema reside en no darle una disposición final o tratamiento al estiércol que se genera en grandes cantidades (Poggio et al. 2009).

En los corrales donde se alberga el ganado vacuno se palpa esta realidad, es por ello que se aprovechará el estiércol de ganado, y que a través de la transformación anaerobia y condiciones óptimas de pH, temperatura, tiempos de retenciones, logran la estabilización completa del material orgánico, descomponiéndolo en compuestos asimilables para el ambiente, y dando solución al problema de acumulación de estiércol en la granja (Perez 2010).

Para la producción se cuantificará el material orgánico en toda la hacienda, la cantidad utilizable para el dimensionamiento de los parámetros geométricos, los cálculos del volumen del sustrato, volumen total y los componentes que llevara el reactor, validando este diseño a través de un prototipo a escala piloto para producción de biogás y fertilizante orgánico (Cardoso et al. 2015).

El biogás resultante será almacenado y empleado como combustible a través de un sistema de conducción de gas, el biofertilizante se utilizará en los cultivos propios del lugar para ayudar en el rendimiento, y a su vez puede ser vendido como un fertilizante natural a los demás agricultores cercanos a la zona (Cardoso et al. 2015, Guimarães 2014).

## **1.1 Problema**

Manejo inadecuado de los residuos orgánicos provenientes de las excretas del ganado vacuno.

## **1.2. Objeto de estudio**

Generación de biogás a partir de material orgánico.

## **1.3. Campo de acción**

Gestión integral de residuos orgánicos de plantel bovino.

## **1.4. Objetivos**

### **General**

Generar biogás usando como base el estiércol de ganado vacuno en la parroquia La Unión, cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos como una alternativa de manejo integral de residuos orgánicos y obtención de energía renovable.

### **Específicos**

- Efectuar los cálculos para la producción de biogás con material orgánico de la zona.
- Evaluar la cantidad de biogás producido usando como base el estiércol de ganado vacuno.
- Establecer ventajas y desventajas económicas de la producción de energías alternativas con la gestión de residuos orgánicos.

## **1.5. Hipótesis**

H0= La obtención de biogás usando como base el estiércol de ganado vacuno no es una alternativa viable para la gestión de residuos sólidos orgánicos.

H1= La obtención de biogás usando como base el estiércol de ganado vacuno es una

alternativa viable para la gestión de residuos sólidos orgánicos.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. Biodigestor**

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, estiércol o efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable (Solano et al. 2011).

La utilización de biodigestores es una alternativa tecnológica para el manejo de los residuos orgánicos, a través de la estabilización de los mismos por la acción de microorganismos anaeróbicos, que constituyen un sistema ecológico delicadamente balanceado, donde cada microorganismo tiene una función especial (Cardoso et al. 2015). Dicho proceso es parte del ciclo biológico de la materia orgánica, el cual involucra la fermentación o digestión de materiales orgánicos para obtener el biogás (Castanho y Arruda 2008).

El biodigestor es compuesto de una estructura física conocida como cámara donde se tiene el proceso de degradación de materia orgánica (Solano et al. 2011). Esta estructura puede ser cilíndrica, vertical y superficial, es decir, en esta estructura se acumula el gas que es liberado de la digestión de la biomasa y como resultado de ese proceso, se obtiene un efluente rico en nutrientes (Mago et al. 2009, Guimarães 2014).

En su forma más simple, un biodigestor es contenedor cerrado, hermético e impermeable, en el cual se deposita material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que se degrade, produciendo gas metano y fertilizantes ricos en nitrógeno, fosforo y potasio (Perez 2010).

Para obtener biogás y fertilizante de buena calidad, dependerá principalmente de la relación estiércol-agua, condiciones de temperatura y pH, el biodigestor tendrá buen rendimiento dependiendo de la biomasa escogida, y el tiempo de retención necesarios para completar cada una de las etapas de la digestión anaerobia (Diaz 2007).

Se puede utilizar excrementos de ganado porcino, bobino, caprino, humanos y animales, como también restos vegetales, etc. que son fácilmente degradados en el

biodigestor, considerando no incluir en la mezcla del sustrato, huesos, grasas, tierra, piedras, maderas verdes; ramas, troncos, aserrín, viruta y otros, debido a la amplia relación C/N, el proceso de degradación será muy lento (Perez 2010).

## 2.2 Condiciones para un biodigestor

Existen diferentes tipos de biodigestores, siendo los más comunes el dosel flotante y domo fijo. La baja aceptación de muchos modelos de plantas de biogás ha sido principalmente debido a los elevados costos, dificultad de instalación y problemas en la consecución de los repuestos (Perez 2010, Cardoso et al. 2015).

Entre los factores primordiales para el buen funcionamiento del biodigestor, se menciona: **la temperatura**, pues de ella depende que los microorganismos se encuentren activos, además, se debe simular las condiciones óptimas para minimizar los tiempos de retención del sustrato. La temperatura ideal para la digestión es de 30° a 35°C aproximadamente.

**Tiempo de retención** cumple un papel importante en el proceso de digestión, una vez que se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce mayor cantidad de biogás, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás, pero con un efluente más degradado y con excelentes características como fuente de nutrimentos.

La **relación óptima de C/N** es de 30:1, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno. En digestores operados con estiércol de bovino, los valores de **pH** óptimos de operación oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6,5 a 8,0 (Ramón et al. 2011, Reuss y Busso 2000, CEDECAP 2007).

## 2.3 Tipos de Biodigestores

- Pozos sépticos.
- Biodigestor del domo flotante (Indio).
- Biodigestor de domo fijo (Chino).

- Biodigestor de estructura flexible.
- Digestor con tanque de almacenamiento tradicional.
- Digestores de alta velocidad o flujo reducido.

### **2.3.1 Pozos Sépticos**

Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas.

Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes. El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias (Wahid et al. 2017).

### **2.3.2 Biodigestor del domo flotante**

Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo.

El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada. Que va colocada en la parte superior del reactor (Ortega Sánchez y León 2016).

### **2.3.3 Biodigestor de domo fijo (chino)**

Este biodigestor consiste en una cámara de gas-firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cima y " fondos son hemisféricos y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada

Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. Más de cinco millones de biodigestores se ha construido en China y ha estado funcionando correctamente pero, desgraciadamente, la tecnología no ha sido tan popular fuera de China (Erreyes Salagaje Omar Diego y Rivera 2015).

### **2.3.4 Biodigestor estructura flexible**

Los biodigestores de materiales flexibles son más baratos. Inicialmente se usaron nylon y neopreno pero ellos demostraron ser relativamente costoso.

Esto fue reemplazado después por polietileno menos costoso que es ahora el material más comúnmente usado en América Latina, Asia y África. Se ha estado recomendando biodigestores de plástico económico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado, reduciendo la presión así en otros recursos naturales.

En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma (Wahid et al. 2017).

### **2.3.5 Digestor con tanque de almacenamiento tradicional**

Este tipo de biodigestor de producción de biogás que ha logrado disminuir los costos hasta 30 % con respecto a los prototipos tradicionales, es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillo como los empleados en los prototipos tradicionales. Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales; y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil (Morán Caicedo et al. 2018, Perez 2010, Castanho y Arruda 2008).

### **2.3.6 Digestores de alta velocidad o flujo inducido**

Estos biodigestores son los utilizados comúnmente en instalaciones industriales o semi-industriales.

Se les conoce de ordinario se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado algún tipo de agitación mecánica, continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica, con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Generalmente los desechos de origen animal, excrementos de cualquier clase, son procesados en biodigestores convencionales que periódicamente reciben carga y entregan por desalojo efluente ya digerido.

El tiempo de operación de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material imposible de digerir. Luego de unos de haber funcionado cuatro o cinco años se debe detener su funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos (Poggio et al. 2009).

#### **2.4.1. Composición del estiércol bovino**

En estudios de la composición química del estiércol de ganado de vacas lecheras en diferentes fuentes seleccionadas, reportan la siguiente composición química promedio (% en base seca): 2-8% de N, 0.2-1% P, 1-3% de K, 1-1.5% de Mg, 1-3% de sodio y 6-15% de sales solubles.

#### **2.4.2. Transformación anaeróbica**

La transformación anaeróbica es la degradación orgánica u enmohecimiento de la materia biológica, donde interceden microbios y bacterias específicas en desaparición del flujo de aire (oxígeno atómico). En este procedimiento el material a degradar se convierte en dos efectos aprovechables, el uno en un beneficio invariable e inactivo denominado biol y el otro en biogás con un gran volumen de metano, uno y otro de los productos obtenidos en este procedimiento ostentan condiciones energéticas. En la transformación anaeróbica se integran una variedad microbianas microscópicos, forjando una técnica compleja, pero de manera ordenada y continuidad para la degradación del material orgánico (Varnero Moreno 2011).

#### **2.4.3. Etapas de la transformación anaeróbica**

La transformación anaeróbica del material orgánico se constituye de cuatro fases en las que interceden desiguales tipologías de microorganismos: Estas etapas son hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

**Fase de hidrólisis,** La hidrólisis es la primera fase necesaria para la descomposición del material orgánico complejo. En esta fase, los microorganismos hidrolíticas intervienen sobre las macromoléculas orgánicas despolimerizándolas enzimáticamente en las

convenientes fracciones más sencillas. Así, los lípidos son depuestos por enzimas hidrolíticas (lipasas) a ácidos grasos de sucesión larga y glicerina. Las proteínas son hidrolizadas por proteasas en proteosomas, péptidos y aminoácidos, y los polisacáridos son transformados en monosacáridos (Cámara Moguel et al. 2011, Pedraza Pachón y Hernández Sanabria 2019).

**Fase acidogénica,** Los variados solubles que resultaron en la fase anterior son reformados por los gérmenes acidogénicas en ácidos grasos de enlace corto (ácidos grasos etéreos), alcoholes, amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono. Los ácidos grasos etéreos son esencialmente ácido acético, propiónico, butírico y valérico. En esta fase se corresponde inspeccionar la cuantía de hidrógeno, puesto que la desintegración de los gérmenes acido génicas pende de él (Cereda y Barana 2000).

**Etapas acetogénicas,** En tanto que ciertos resultantes de la fermentación (hidrógeno y ácido acético) consiguen ser metabolizados concisamente por los organismos metanogénicos, los elementos intermedios (ácido propiónico, butírico, etc.) requieren ser convertidos en componentes más naturales, por medio de las microorganismos acetogénicas. Como primordiales elementos se consiguen ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono que, subsiguientemente, alcanzan a ser laborosos por los gérmenes metanogénicas. Los microorganismos acetogénicas asimismo demandan una vigilancia absoluta de la congregación de hidrógeno, ya que con una eminente coacción de hidrógeno se comprime la elaboración de acetato, causando preponderantemente ácido propiónico, butírico o etanol en lugar de metano (Mancillas-Salas et al. 2012).

**Etapas metanogénicas,** En la última fase del procedimiento, las bacterias metanogénicas convierten el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono en metano y dióxido de carbono. Los microorganismos comprometidos de este método son anaeróbicas precisas. Se diferencian dos ejemplares de microorganismos, los que desintegran el ácido acético a metano y dióxido de carbono (microorganismos metanogénicas acetoclásicas) y los que comprimen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (microorganismos metanogénicas hidrogenófilas) (Tsapekos et al. 2017, Kougias et al. 2014, Angelidaki et al. 2006).

#### **2.4.4. Estiércol**

Es el nombre con el que se designan al excremento de los animales que se manejan para fecundizar el cultivo agrícola. En ocasiones el estiércol está compuesto por excremento de animales y residuos de los lechos, como ocurre con la paja. Es decir que el estiércol es una mixtura de materia excrementicia y alimento expulsado, procedente del tracto gástrico de los animales, contiene restos alimenticios no digeridos, y elementos estomacales como enzimas, líquidos gástricos, pancreáticos y células muertas de la membrana intestinal, microorganismos vivos y muertos del colon y productos del desecho del metabolismo (Pinos-Rodríguez et al. 2012).

El estiércol son las heces de animales de ganadería, el mismo que se forma de una composición de materia orgánica digerida y orina, que es manejada para abonar el suelo. Cuando se utiliza el estiércol en el suelo permite el aporte de nutrimentos, aumenta la conservación de la humedad, y mejora la diligencia orgánica, con lo cual se aumenta la fecundidad del suelo y por lo cual su producción (Gonzálvez y Pomares 2008, Salazar-Sosa et al. 2004).

#### **2.4.5. Contaminación por el estiércol**

El ámbito de ganadería es uno de los primordiales garantes del efecto invernadero en el planeta y resulta más pernicioso que la transportación, según la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). La ganadería produce más vapores de efecto invernadero, los mismos que al ser tasados en su semejante en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son más perjudiciosos que los de la transportación. Las reses no sólo ponen el riesgo al medio ambiente sino que también es una de las iniciales nacimientos de ignominia del suelo y del agua. La ganadería es causante del 9% de CO<sub>2</sub> oriundo de la actividad humana, pero ocasiona una proporción superior de los gases de efecto invernadero más nocivos (FAO 2006).

Se genera el 65% del óxido nitroso de comienzo humano, que posee 296 ocasiones del Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés) del CO<sub>2</sub>. La mayor fracción de este gas proviene del excremento. El sector de ganadería es el método de manutención para 1.300 millones de habitantes en el planeta y admite el 40% de la obtención agrícola a nivel mundial. Para mucha población dedicada a la agricultura en las

naciones en desarrollo, el ganado es asimismo un surtidor de energía como potencia de descarga y una fuente fundamental de fertilización orgánica para los sembríos. A través del tiempo el estiércol ha sido utilizado como fertilizante original para abonar la tierra, suministrando sustentos nutricionales, por lo que se consiguió utilizar a la generalidad de suelos de labranzas, a través del asunto de compostaje para socorrer y beneficiar su fertilización (Morales et al. 2017).

#### **2.4.6. Acción del estiércol en el suelo**

Posee una operación favorecedora, substancialmente suministrando elementos nutricionales, y regenerando las particularidades del suelo, acrecentando ampliamente la cabida y propiedades del material orgánico. Una excelente calidad en el estiércol, está en analogía a la variedad animal, la nutrición concebida por los ganaderos, y el área donde se desarrollan, aumenta su textura en un 30 y 80% de los contenidos orgánicos, empleando de manera invariable y en frecuentes tiempos, el estiércol puede aumentar el volumen de humus en la tierra, acentuado el movimiento microbiano. El estiércol funciona efectivamente sobre las circunstancias físicas de los suelos, se han conseguido significativas bajas de la consistencia supuesta, crecida de las áreas intersticiales del suelo, la macro esponjosidad y progresos en el volumen de conservación de agua, con la asociación de diferente tipologías de excremento al terreno (EcoChem 2014).

El estiércol provoca una consecuencia propicia en el estado orgánico del suelo, a causa del gran dinamismo microbiano que tiene. Éstos causan evoluciones sintéticas en el suelo y el excremento, hace que muchos componentes no utilizables por las plantaciones logren ser aprovechados, acrecentando la acción y cantidad de variedades de la fauna edáfica. El excremento es estimado como abono anatómico natural, sin embargo un sinnúmero de agricultores prefieren los fertilizantes artificiales, pues exponen eficacia en un poco lapso de tiempo al ser utilizados en las siembras y el suelo, con lo que se diferencia el fertilizante natural (estiércol), el cual muestra resultados a largo plazo conservando el suelo nutrido y predispuesto para las siembras (FAO 2013).

#### **2.4.7. Biogás**

Es una miscelánea de gases cuyo primordial elemento son el metano y el bióxido de carbono, el mismo que se origina como efecto de la fermentación del componente orgánico en desaparición del aire por la operación de un conjunto de microorganismos que

interaccionan con otros elementos. El biogás es el ciclo gaseoso; mixtura de metano, bióxido de carbono, nitrógeno, gas sulfuroso y vapor de agua. El tático de gases inflamables lo conciben muy rentable como medio energético en el ámbito agrícola. El metano es un carburante sin color ni olor, cuya ignición provoca una flama azul y efectos no contaminantes, es el vital colaborador del gas natural, ya que está constituido casi en su totalidad por el metano (Harris y Oechsner 2014, Bond y Templeton 2011).

#### **2.4.8. Propiedades energéticas del biogás.**

Las propiedades del biogás se deben a la presencia del gas metano como combustible principal y del hidrogeno en proporción al contenido de los mismos. “La combustión es muy limpia dando como productos finales bióxido de carbono y agua que no son contaminantes; por esta razón se dice que el biogás es un combustible ecológico. El poder calorífico del biogás está comprendido entre 4.500 y 6.000 kilocalorías/m<sup>3</sup> dependiendo de su composición”. El biogás tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm<sup>3</sup>. Es decir, salvo por el contenido en H<sub>2</sub>S, es un combustible ideal.

#### **1.4.9. Usos del biogás**

El biogás producido en procesos de digestión anaeróbica puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H<sub>2</sub>S y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido
- como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación y descripción del campo experimental

El presente trabajo experimental se realizó en los terrenos de la Hacienda La Clementina, parroquia La Unión, cantón Babahoyo, con ubicación geográfica (UTM) a 678189 de latitud, 9811027 de longitud y 17 m de altitud.

#### 3.2. Variables en estudio

Variable dependiente: Cantidad de biogás generado.

Variable independiente: Cantidad de residuos en proceso de fermentación.

#### 3.3. Métodos

En este trabajo se realizaron los métodos: deductivo, inductivo, empírico y experimental.

#### 3.4. Tratamientos

En el presente trabajo experimental se estudiaron cuatro tratamientos y cinco repeticiones tal como se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados para la producción de biogás.

No.	Materiales	Cantidad/30 litros
T1	Estiércol fresco de bovino + cascarilla de arroz + leche cruda + agua	6 lb – 3 lb – 1,5 L – 10,5 L
T2	Estiércol fresco de bovino + cascarilla de arroz + levadura de pan + agua	6 Lb – 3 lb – 300 g – 10,5 L
T3	Estiércol fresco de bovino + cascarilla de arroz + leche cruda + levadura de pan + agua	6 lb – 3 lb – 1,5 L – 300 g – 10,5 L
T4	Estiércol bovino + cascarilla de arroz + agua (testigo)	6 lb – 3 lb – 13,5 L

### 3.5. Diseño experimental

En el presente trabajo experimental, los tratamientos fueron aleatorizados en un diseño de Bloques Completos al Azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones. Una vez aceptada la hipótesis alternativa, las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey al 95 % de probabilidad.

### 3.6. Análisis de varianza

El análisis de varianza se desarrolló con el siguiente esquema:

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Repeticiones	4
Tratamientos	3
Error experimental	12
Total	19

### 3.7. Dimensiones de las unidades experimentales

Las unidades experimentales tuvieron una capacidad de 30 litros dando un total de 600 litros que es igual a  $0,6 \text{ m}^3$

### 3.8. Manejo del ensayo

Para el normal desarrollo del ensayo se realizó la construcción de los biodigestores, colecta de los componentes para la producción de biogás y preparación de los tratamientos.

### 3.9. Materiales utilizados para armar los biodigestores

Los materiales que se utilizaron para la construcción de los biodigestores fueron:

- 40 neplones perdidos de  $\frac{1}{2}$  pulgada
- 20 codos de  $\frac{1}{2}$  pulgada
- 20 adaptadores de  $\frac{1}{2}$  pulgada

- 20 llaves de paso de ½ pulgada
- teflón industrial 2 rollos
- 1 neplo de ½ pulgada
- 1 llave de paso de ¾ pulgada
- 2 metros de manguera transparente de 1 pulgada
- 3 metros de manguera transparente de ¾ pulgada
- 2 abrazaderas de ¾ pulgada

Una vez adquirido todos los materiales, se procedió a la construcción de los biodigestores, los mismos que fueron armados de forma manual acoplando todos los materiales y previa colocación de teflón, ajustar a las piezas roscables herméticamente para evitar fuga de material líquido o gaseoso y así, optimizar el proceso anaeróbico de los microorganismos involucrados en la descomposición de la materia orgánica y producción de biogás.

### **3.10. Colecta de componentes orgánicos para la producción de biogás**

Los componentes orgánicos utilizados en el siguiente experimento fueron:

Componentes	Cantidad
Estiércol fresco	120 lb
Cascarilla de arroz	60 lb
Leche (cruda) de vaca	15 L
Levadura de pan	3000 g
Agua	225 L

El estiércol fresco se colectó en los predios de la Hcda. Clementina, se recolectaron 120 libras y luego se procedió a dividir en partes iguales para cada biodigestor (6 lb), la cascarilla de arroz fue obtenida de una piladora cercana al sitio experimental, se colectó 60 libras, de las cuales fueron adicionadas 3 libras a cada biodigestor. Además, la leche cruda fue adicionada apenas en los tratamientos T1 y T3 y la levadura de pan en los tratamientos T2 y T3.

### **3.11. Preparación de los tratamientos**

Una vez realizada la construcción de los biodigestores y la colecta del material orgánico, se procedió a dosificar los componentes por tratamientos.

Tratamiento 1:

- 6 libras de estiércol fresco de bovino
- 3 libras de cascarilla de arroz
- 1,5 litros de leche cruda
- 10,5 litros de agua

Tratamiento 2:

- 6 libras de estiércol fresco de bovino
- 3 libras de cascarilla de arroz
- 300 g. de levadura de pan
- 10,5 litros de agua

Tratamiento 3:

- 6 libras de estiércol fresco de bovino
- 3 libras de cascarilla de arroz
- 1,5 litros de leche cruda
- 300 g. de levadura de pan
- 10,5 litros de agua

Tratamiento 4:

- 6 libras de estiércol fresco de bovino
- 3 libras de cascarilla de arroz
- 13,5 litros de agua

### **3.11.1. Datos a evaluar.**

Para evaluar la producción de biogás en los tratamientos, se tomaron las siguientes variables:

### **3.11.2. Producción de biogás**

La producción de biogás fue evaluada a los 40 y 60 días de digestión. La producción de biogás en los tratamientos fue obtenida por el método de desplazamiento de agua, el cual consistió en tomar una manguera de 2 m de longitud por 1 pulgada de diámetro y una llave de paso, luego se procedió a utilizar un balde y una manguera con agua (ocupando toda su capacidad ambos materiales) y manipulando cuidadosamente evitando el derrame de agua de la manguera, se la introdujo en el balde, se colocó en la salida del biodigestor otra manguera de  $\frac{3}{8}$  diámetro con su respectivo niple reductor roscable y su llave de paso y se

la introdujo en el balde y a su vez dentro de la manguera. Posterior a eso, se procedió a abrir la llave de paso del biodigestor lentamente para ir midiendo cuántos ml se obtuvo en cada unidad experimental

### **3.11.3. Producción de biol**

La producción de biol se obtuvo mediante el método de decantación, esta variable fue expresada en ml.

El biol se obtuvo después de la decantación de los residuos orgánicos en los biodigestores. En cada unidad experimental se colocó un costal seco y limpio para filtrar el lixiviado en cada biodigestor, luego, con ayuda de una jarra milimétrica se procedió a medir y a registrar la cantidad de biol producido.

### **3.11.4. PH del biol**

El pH del biol se midió con ayuda de un papel “hydrion”, el mismo que registra el pH entre 1 y 6.

### **3.11.5. Presión de descarga**

La presión de descarga de biogás se midió a los 40 y 60 días de digestión con ayuda de un manómetro, la presión fue expresada en PSI.

### **3.11.6. Registro de material orgánico**

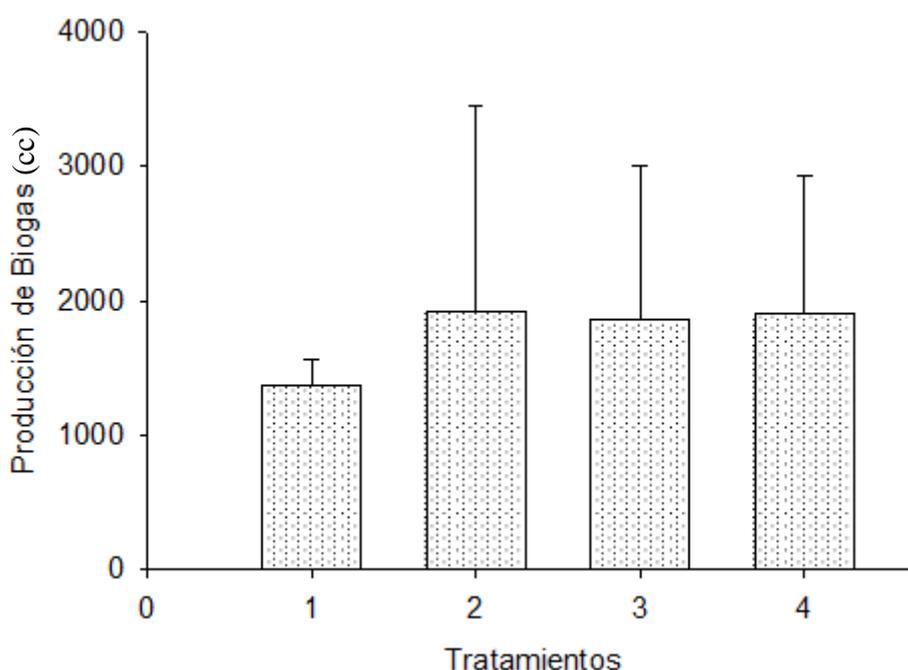
Esta variable fue registrada una vez que se extrajo el material sólido y luego para la eliminación de material líquido, fueron colocados en sacos (secos y limpios) durante 24 horas. Posteriormente se obtuvo el peso en libras del material sólido existente en las unidades experimentales.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Producción de biogás

De acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos no presentaron diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) en la producción de biogás, sin embargo, se evidenció que el tratamiento 2 (T2), produjo ( $0,001922\text{m}^3$ ) seguido por el tratamiento 4 (T4) con ( $0,0019104\text{m}^3$ ), siendo los tratamientos 3 (T3) y 1 (T1) los que obtuvieron la menor producción de biogás con ( $0,001866,00\text{m}^3$ ), y ( $0,001367\text{m}^3$ ) respectivamente (Figura 1).

El coeficiente de variación de esta variable fue 15,14 %.

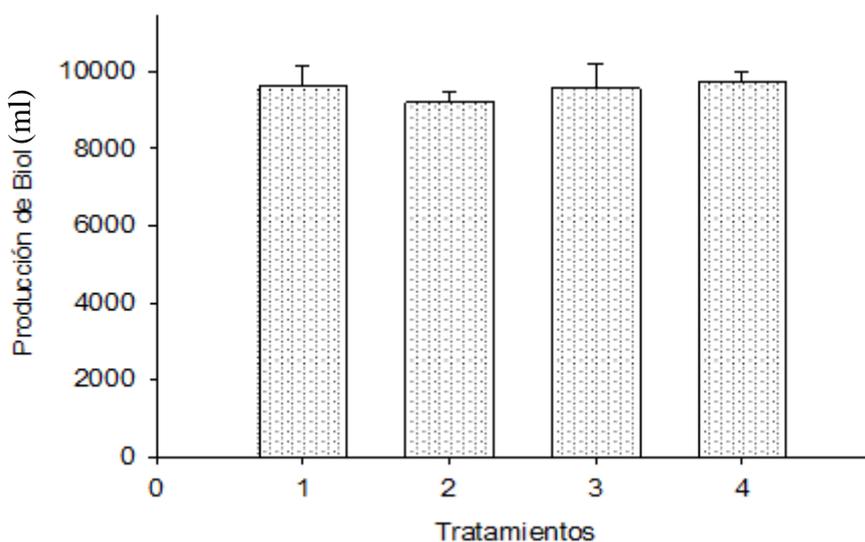


**Figura 1.** Producción de biogás en diferentes tratamientos, donde el **T1** contiene: Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + agua (10,5 L). **T2**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T3**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T4**, Estiércol bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + agua (13,5 L). Las barras de error demuestran el desvío estándar.

#### 4.2. Producción de biol

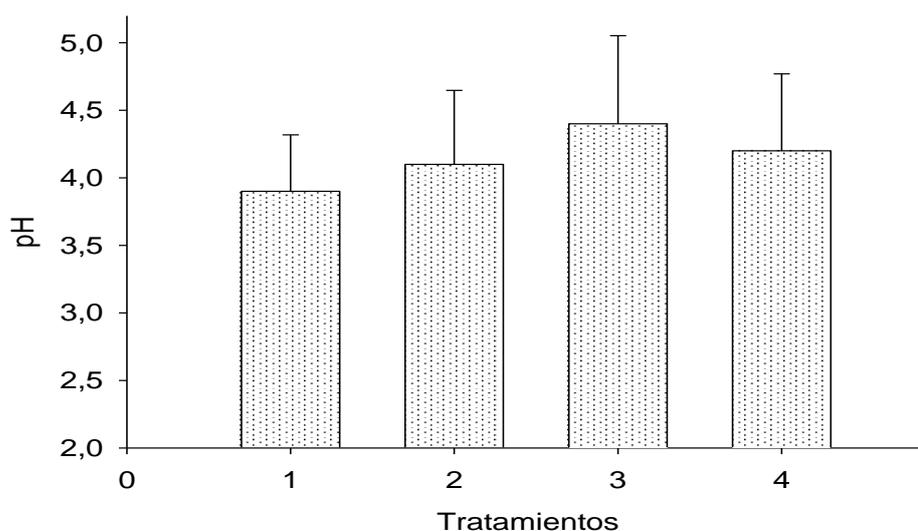
En relación a la producción de biol, se pudo observar que los tratamientos no difirieron significativamente ( $p > 0,05$ ) entre sí (Figura 2). Sin embargo, en T4 (tratamiento testigo) se obtuvo 9750,00 ml de lixiviado (biol), seguido por T1 con 9620,00 ml. Los tratamientos que produjeron menos biol fueron T3 y T2 con 9560,00 ml y 9210,00 ml, en ese orden.

El coeficiente de variación de esta variable fue 5,08 %.



#### 4.3. Obtención del pH.

El pH del biol producido en los tratamientos estudiados varió de 3,9 a 4,4 (Figura 3) y según la escala de pH son considerados ácidos. El tratamiento que obtuvo el pH más elevado fue T3 con 4,4; seguido de T4 con 4,20. Así, se pudo evidenciar que los tratamientos T2 y T1 con 4,1 y 3,9, respectivamente, presentaron mayor acidez en el producto lixiviado. La diferencia del pH en los tratamientos no fue significativa ( $p > 0,05$ ) según el análisis de varianza. El coeficiente de variación fue 12,25 %.



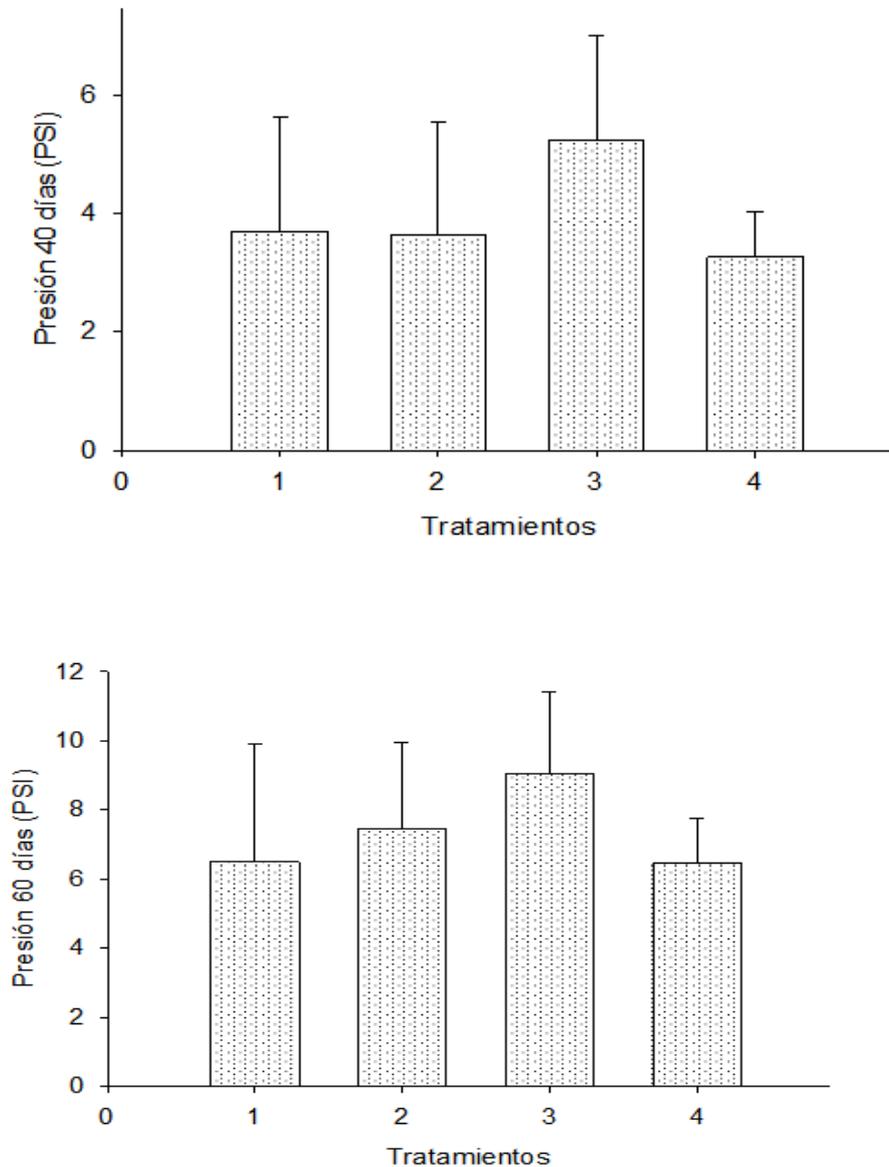
**Figura 2.** PH de biol producido en diferentes tratamientos, donde el **T1** contiene: Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + agua (10,5 L). **T2**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T3**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T4**, Estiércol bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + agua (13,5 L). Las barras de error demuestran el desvío estándar.

#### 4.4. Presión de salida del biogás

En relación a la presión de salida de biogás a los 40 días (Figura 4), se pudo observar que la presión varió de 3,27 PSI a 5,24 PSI, siendo el T3 quien presentó el mayor valor, seguido por T1 con 3,70 PSI. La diferencia entre los 2 tratamientos no fue significativa ( $p > 0,05$ ). El T2 presentó una presión de descarga de 3,64 PSI, siendo esta superior a T4 que presentó una descarga de 3,27 PSI. Según el análisis de varianza, las diferencias presentadas entre tratamientos, no fue significativa. El coeficiente de variación fue 18,76 %.

La presión de salida de biogás a los 60 días (Figura 4) varió de 6,47 PSI a 9,04 PSI, siendo el T3 quien presentó la mayor presión, seguido por T2 con 7,44 PSI. T1 y T4 registraron la menor presión con 6,50 PSI y 6,47 PSI, respectivamente. La diferencia de la presión de

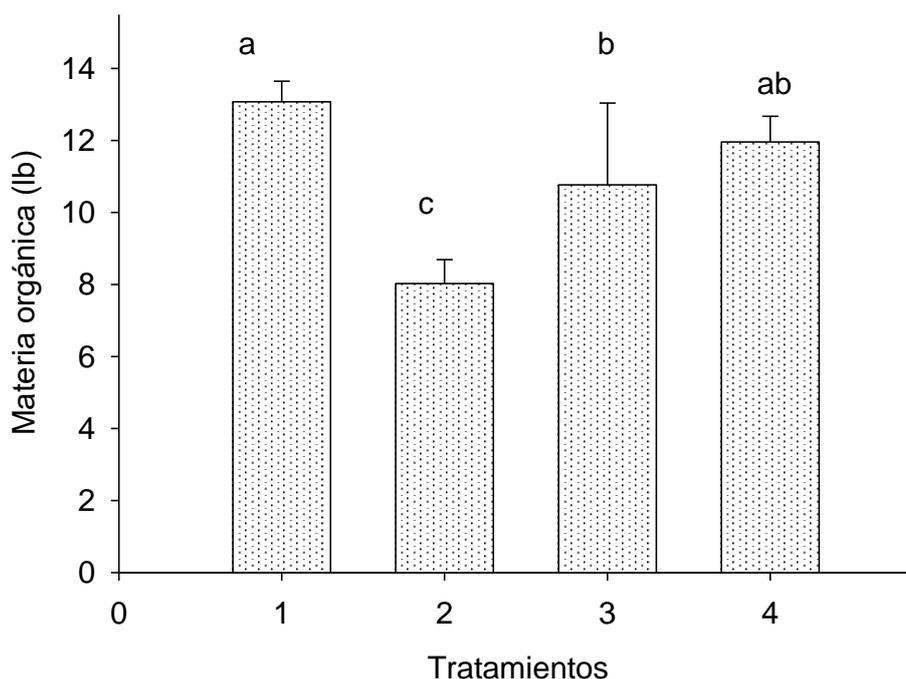
salida de biogás registrada en los tratamientos no presentó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) según el análisis de varianza. El coeficiente de variación fue 16,63 %.



**Figura 3.** Presión de salida de biogás a los 40 días en diferentes tratamientos. Donde el **T1** contiene: Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + agua (10,5 L). **T2**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T3**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T4**, Estiércol bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + agua (13,5 L). Las barras de error demuestran el desvío estándar.

### 3.5. Materia Orgánica

En relación al material orgánico residual, se evidenció que los tratamientos T1 y T4 presentaron 13,07 lb y 11,96 lb, respectivamente. Sin embargo, esta diferencia no fue significativa entre sí. El tratamiento T1 presentó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) al tratamiento T3 y T2 que obtuvieron 10,77 lb y 8,03 lb en su orden. El Tratamiento T4 presentó apenas diferencia significativa con el tratamiento T2. El coeficiente de variación fue 10,70 %.



**Figura 5.** Material orgánico residual en diferentes tratamientos. Donde el **T1** contiene: Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + agua (10,5 L). **T2**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T3**, Estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T4**, Estiércol bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + agua (13,5 L). Las barras de error demuestran el desvío estándar.

## V. DISCUSIÓN

Para el cálculo de la cantidad de biogás producido en los tratamientos se utilizó la técnica del desplazamiento de agua, el mismo que consistió en invertir una probeta saturada de agua en un balde con el mismo líquido para luego introducir por su parte inferior la manguera proveniente del reactor, de esta manera proceder a la apertura de llaves de paso y realizar la lectura de la cantidad de agua desplazada en relación a la cantidad de biogás producido (Reyes Aguilera 2016). En este experimento, la producción de biogás en biodigestores a partir de diferentes sustratos varió desde 1367 ml hasta 1922 ml, sin embargo, esa diferencia numérica no presentó significancia estadística.

La producción de biogás como resultado de la fermentación anaeróbica, es uno de los procesos biológicos más frecuentes usados por la naturaleza para la descomposición de materiales orgánicos. El proceso es sumamente complejo y en él intervienen un elevado número de especies de bacterias y como resultado de la actividad de estos y otros microorganismos se liberan gases como metano, dióxido de carbono, hidrogeno y trazas de otros gases.

La producción de biogás en los tratamientos estudiados puede estar relacionado con el tiempo de retención de los materiales orgánicos en el biodigestor. En este sentido, se ha observado una relación negativa muy estrecha entre el tiempo de retención y la producción de biogás, es decir, que a menor tiempo de retención se produce mayor cantidad de biogás y un material orgánico con bajo contenido nutricional por haber sido parcialmente digerido (Afanador Barajas 2017, Soria et al. 2000).

Sin embargo, para que el proceso de digestión se realice con normalidad, además del tiempo de retención, la temperatura y el pH son factores que influyen directamente con el proceso de fermentación. en este contexto, se observó que el lixiviado resultante del proceso de digestión, el pH varió de 3,9 a 4,4 en los 4 tratamientos, siendo los valores óptimos entre 6,7 y 7,5 en biodigestores operados con estiércol bovino (Holm-Nielsen et al. 2009, Zhang et al. 2013), entretanto, los resultados obtenidos en esta investigación puede estar relacionado a la obtención del pH días después de iniciada la fermentación. Una vez iniciada la fermentación, como resultado de la actividad de los microorganismos, se liberan compuestos orgánicos que alteran el pH, acidificando la solución. (Mao et al. 2015).

Durante el proceso de biodigestión se obtuvo una producción de biol (efluente) entre 9210 ml y 9750 ml, siendo esta diferencia numérica no significativa. Sin embargo, la producción de efluente varía de acuerdo con la cantidad de sólidos contenidos en el biodigestor, ya que estos sirven de fuente de energía para los microorganismos responsables del proceso de digestión. Es decir, a mayor concentración de sólidos en el biodigestor, se tendrá mayor contenido de nutrientes en los efluentes (Soria et al. 2000).

Dentro de las ventajas en la aplicación de este trabajo experimental se puede enumerar las siguientes:

Recolección de materiales presentes en la zona, es decir, que no se necesita de mucho esfuerzo en la búsqueda de biomasa favoreciendo gestión de residuos sólidos orgánicos que favorezcan la actividad anaerobia dentro de reactor, ayudando a índices de salud pública.

Utilización en diferentes espectros que van desde el doméstico hasta el industrial, ayudando de esta manera al ahorro económico que implica la obtención de envases con energías fósiles (G.L.P.), desembocando inclusive en la obtención de subproductos que aportan a la agricultura (Morán Caicedo et al. 2018).

También se puede anotar como desventajas lo siguiente:

La mayoría de lugares con fuentes de materia prima para la producción de biogás, pueden asumir una posición cultural de venta de residuos, rechazos y desechos; que en la operación temporal longitudinal implicarían la elevación de los costos de producción (como ha pasado con algunos subproductos de la zona).

La generación a gran escala de biogás para la utilización en maquinarias industriales implicaría la purificación de este producto para poder introducirse en los procesos de combustión interna de motores, proceso que es altamente costoso.

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que:

- La obtención de biogás como resultado de la fermentación, puede presentar un elevado costo de producción durante los primeros meses, debido a la construcción de los reactores y a obtención de materia prima.
- El tratamiento 2, compuesto por: Estiércol fresco de bovino (6 lb) +cascarilla de arroz (3 lb) + levadura de pan (300 g) + agua, presentó mayor producción de biogás y menor producción de biol
- La producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno y desechos agrícolas, puede resultar una ventaja para la instalación de biodigestores una vez que a partir de la fermentación de estos desechos se obtiene energía limpia a menor escala, la misma que puede ser utilizada en procesos de combustión interna de motores y el subproducto en la producción de alimentos.

## **VII. RECOMENDACIÓN**

- Previo establecimiento de biodigestores, realizar análisis de factibilidad, considerando la finalidad del producto y sub productos resultantes del proceso de fermentación.
  
- Realizar estudios similares con otras materias primas, a fin de obtener mayor producción de biogás y biol.
  
- Realizar estudios similares con biodigestores de mediana y grande escala para la producción de biogás y subproductos resultantes de la fermentación con materias primas existentes en la localidad para su debido aprovechamiento en la agricultura.

## VIII. RESUMEN

Los biodigestores son sistemas diseñados para optimizar la producción de biogás a partir de desechos agrícolas, excrementos de ganado porcino, bobino, caprino y humanos, así como efluentes industriales, entre otros, los cuales permiten así la obtención de energía limpia y de bajo costo a partir de una fuente renovable. El siguiente trabajo experimental tuvo como objetivo generar biogás usando como base el estiércol de ganado vacuno y fue realizado en los terrenos de la Hacienda La Clementina, parroquia La Unión, cantón Babahoyo, con ubicación geográfica (UTM) 678189 de latitud, 9811027 de longitud. Los tratamientos fueron aleatorizados en un diseño de Bloques Completos al Azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones, en donde: **T1** estuvo compuesto por estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + agua (10,5 L). **T2**, estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L). **T3**, estiércol fresco de bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + leche cruda (1,5 L) + levadura de pan (300 g) + agua (10,5 L) y **T4**, estiércol bovino (6 lb) + cascarilla de arroz (3 lb) + agua (13,5 L). Las variables evaluadas fueron: producción de biogás, producción de biol, presión de descarga, pH y material orgánico residual. En la producción de biogás, el tratamiento T2 produjo el mayor valor de biogás, sin embargo, los tratamientos no difirieron significativamente. En la producción de biol, los tratamientos T4 y T1 alcanzaron 9750 ml y 9620 ml en su orden, por tanto, la producción de biol no fue diferente en todos los tratamientos. Situación similar fue observada en el pH del biol, los valores variaron de 3.9 a 4,4, siendo esta diferencia no significativa en los tratamientos evaluados. En la presión de descarga, no se obtuvo diferencias entre tratamientos. Sin embargo, el peso de la materia orgánica residual, se observó que el T1 con 13,07 lb presentó el mayor valor, siendo este diferente a 10,77 lb y 8,03 lb obtenidos en los tratamientos T3 y T2, respectivamente. En este contexto, La obtención de biogás como resultado de la fermentación, puede presentar un elevado costo de producción durante los primeros meses, debido a la construcción de los reactores y a obtención de materia prima. Por lo tanto, La producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno y desechos agrícolas, puede resultar una ventaja para la instalación de biodigestores una vez que a partir de la fermentación de estos desechos se obtiene energía limpia a menor escala, la misma que puede ser utilizada en procesos de combustión interna de motores y el subproducto en la producción de alimentos.

Palabras claves: Biodigestores, Fermentación, microorganismos anaeróbicos, residuos agrícolas.

## IX. SUMMARY

Bio digesters are systems designed to optimize the production of biogas from agricultural wastes, excrements of pigs, bovine, goats and humans, as well as industrial effluents, among others, which thus allow obtaining clean and low-cost energy to from a renewable source. The following experimental work was aimed at generating biogas using cattle manure as a base and was carried out on the grounds of La Clementine Farm, La Unión Parish, Babahoyo Canton, with geographical location (UTM) 678189 latitude, 9811027 longitudes. The treatments were randomized in a Random Complete Blocks design with 4 treatments and 5 repetitions, where: T1 was composed of fresh bovine manure (6 lb.) + rice husk (3 lb.) + raw milk (1.5 L) + water (10.5 L). T2, fresh bovine manure (6 lb.) + rice husk (3 lb.) + bread yeast (300 g) + water (10.5 L). T3, fresh bovine manure (6 lb.) + rice husk (3 lb.) + raw milk (1.5 L) + bread yeast (300 g) + water (10.5 L) and T4, bovine manure (6 lb.) + rice husk (3 lb.) + water (13.5 L). The variables evaluated were: biogas production, biol production, discharge pressure, pH and residual organic material. In biogas production, the T2 treatment produced the highest biogas value, however, the treatments did not differ significantly. In the production of biol, treatments T4 and T1 reached 9750 ml and 9620 ml in their order, therefore, the production of biol was not different in all treatments. Similar situation was observed in the pH of the biol, the values varied from 3.9 to 4.4, this difference being not significant in the treatments evaluated. In the discharge pressure, no differences between treatments were obtained. However, the weight of the residual organic matter, it was observed that the T1 with 13.07 lb. had the highest value, being this different to 10.77 lb. and 8.03 lb. obtained in the treatments T3 and T2, respectively. In this context, obtaining biogas as a result of fermentation can present a high production cost during the first months, due to the construction of the reactors and obtaining raw material. Therefore, the production of biogas from cattle manure and agricultural waste can be an advantage for the installation of bio digesters once, from the fermentation of these wastes, clean energy is obtained on a smaller scale, the same as it can be used in internal combustion processes of engines and the byproduct in food production.

Keywords: Bio digesters, Fermentation, anaerobic microorganisms, agricultural waste.

## X. BIBLIOGRAFÍA

Afanador Barajas, LN. 2017. Biofertilizantes: conceptos, beneficios y su aplicación en Colombia. Ingeciencia .

Bond, T; Templeton, MR. 2011. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.09.003>.

Cámara Moguel, K; Laines Canepa, J; Sosa Olivier, J. 2011. Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima Microorganismos que intervienen en la generación de biogás. SIIR .

Cardoso, BF; Oyamada, GC; Silva, CM da. 2015. Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil. Desenvolvimento em Questão . DOI: <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.127-145>.

Castanho, DS; Arruda, HJ De. 2008. Biodigestores. VI Semana de Tecnologia em Alimentos .

CEDECAP. 2007. Biodigestor de polietileno: construcción & diseño. Taller Práctico sobre Biodigestores Familiares de Bajo Costo .

Cereda, MP; Barana, AC. 2000. Cassava wastewater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigester Tratamento de água residual do processamento de mandioca (manipueira) utilizando biodigestor anaeróbico de duas fases. Ciência e Tecnologia de Alimentos .

Diaz, GO. (2007). Biogas production in anaerobic reactors under different operation configurations. s.l., s.e.

EcoChem. 2014. Manure Is an Excellent Fertilizer.

FAO. 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación .

\_\_\_\_\_. 2013. Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina. s.l., s.e.

Gonzálvez, V; Pomares, F. 2008. La fertilización y el balance de nutrientes en sis temas

agroecológicos. sociedad Española de Agricultura Ecologica SEAE .

Guimarães, CE. 2014. Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás em Fecularias de Mandioca no Estado do Paraná: Um Estudo de Casos Múltiplos. s.l., s.e. .

Harris, P; Oechsner, H. 2014. Biogas. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1201/b16643>.

Holm-Nielsen, JB; Al Seadi, T; Oleskowicz-Popiel, P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>.

Mago, AD; Araujo, IS; Filho, PB; Oliveira, PAV de. 2009. Caracterização do Biogás e do Afluente em Biodigestores da Atividade Suinícola em Santa Catarina. X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental .

Mancillas-Salas, S; Rodríguez-De La Garza, A; Ríos-González, L. 2012. Bioestimulación De La Digestión Anaerobia. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila .

Mao, C; Feng, Y; Wang, X; Ren, G. 2015. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>.

Morales, B; Mendoza, M; Guerrero, M. 2017. Cambio climático y su relación con prácticas de manejo del suelo para la captura de carbono: sectores agropecuario y forestal. Elementos para Políticas Públicas .

Morán Caicedo, IA; Delgado Delgado, DD; Vargas Guillén, PI. 2018. Biogas derivado de bioles, alternativa de energía renovable a nivel rural con proyección urbana. Caribeña de Ciencias Sociales (septiembre).

Ortega Sánchez, GG; León, G. 2016. Diseño de un biodigestor anaerobio para la generación de biogás a partir de los desechos orgánicos generados en la Hacienda Rocon. s.l., s.e. .

Pedraza Pachón, SA; Hernández Sanabria, LA. 2019. Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje. Avances: Investigación en Ingeniería . DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5439>.

Perez, J. 2010. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Universidad Santiago De Chile .

Pinos-Rodríguez, JM; García-López, JC; Peña-Avelino, LY; Rendón-Huerta, JA; González-González, C; Tristán-Patiño, F. 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia* .

Poggio, D; Paiva Prado, M; Ferrer Martí, I; Velo García, E. 2009. BIODIGESTORES DE BAJO COSTE PARA CLIMAS ANDINOS. *Revista brasileira de agroecologia* .

Ramón, J; Canepa, L; Aurelio, J; Olivier, S; Cristel, K; Moguel, C; Luis, J; Sánchez, A; Olivares, JF. 2011. Diseño, construcción y operación de un biodigestor anaerobio tipo cúpula a escala real para la obtención de biogás. *Hacia la sustentabilidad: Los residuos sólidos como fuente de energía y materia prima* .

Reuss, N; Busso, M. 2000. Diseño de un biodigestor para obtener metano utilizando excremento de vacas y cerdos en una escuela agrotécnica. *Betrieb* .

Reyes Aguilera, EA. 2016. Producción de biogas a partir de Biomasa. *Revista Científica de FAREM-Estelí* . DOI: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i17.2610>.

Salazar-Sosa, E; Vázquez-Vázquez, C; Leos-Rodríguez, J; Fortis-Hernández, M; Montemayor-Trejo, J; Figueroa-Viramontes, R; López-Martínez, J. 2004. Mineralización del estiércol bovino y su impacto en la calidad del suelo y la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo riego sub-superficial: (con 3 figuras y 6 tablas). *Phyton* (Buenos Aires) .

Solano, OR; Vargas, MF; Watson, RG. 2011. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en Marcha* .

Soria, M; Ferrera, R; Barra, J; Alcántar, G; Santos, J; Borges, L; Pereyda, G. 2000. PRODUCCION DE BIOFERTILIZANTES MEDIANTE BIODIGESTION DE EXCRETA LIQUIDA DE CERDO Biodigestion of Hog Slurry to Produce Biomanure. Publicado en *Terra* .

Tsapekos, P; Kougias, PG; Treu, L; Campanaro, S; Angelidaki, I. 2017. Process performance and comparative metagenomic analysis during co-digestion of manure and lignocellulosic biomass for biogas production. *Applied Energy* . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.081>.

Varnero Moreno, MT. 2011. Manual de Biogas. Manual de Biogas Proyecto CHI/00/G32 . DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>.

Wahid, H; Ahmad, S; Nor, MAM; Rashid, MA. 2017. FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas. Jurnal Ekonomi Malaysia . DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

Zhang, C; Xiao, G; Peng, L; Su, H; Tan, T. 2013. The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. Bioresource Technology . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.138>.

## APÉNDICE

### Análisis de varianza

#### Producción de Biogás (Datos transformados a Log 10)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
P.biogás	20	0,39	0,03	15,14

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	1071939,35	3	357313,12	0,34 <sup>ns</sup>	0,8001
Repeticiones	6012600,80	4	1503150,20	1,41	0,2890
Error	12786232,40	12	1065519,37		
Total	19870772,55	19			

#### Producción de Biol

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Producción de Biol	20	0,29	0,00	5,08

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	798500,00	3	266166,67	1,13 <sup>ns</sup>	0,3743
Repeticiones	346750,00	4	86687,50	0,37	0,8259
Error	2815250,00	12	234604,17		
Total	3960500,00	19			

#### pH

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
pH	20	0,44	0,12	12,25

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Tratamientos	0,65	3	0,22	0,84 <sup>ns</sup>	0,4984
Repeticiones	1,80	4	0,45	1,74	0,2054
Error	3,10	12	0,26		
<b>Total</b>	<b>5,55</b>	<b>19</b>			

**Materia Orgánica**

<u>Variable</u>	<u>N</u>	<u>R<sup>2</sup></u>	<u>R<sup>2</sup> Aj</u>	<u>CV</u>
<b>Materia Orgánica</b>	<b>20</b>	<b>0,83</b>	<b>0,73</b>	<b>10,70</b>

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Tratamientos	70,55	3	23,52	17,13 <sup>**</sup>	0,0001
Repeticiones	9,34	4	2,34	1,70	0,2142
Error	16,48	12	1,37		
<b>Total</b>	<b>96,37</b>	<b>19</b>			

**Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,20023**

*Error: 1,3731 gl: 12*

<u>Tratamientos</u>	<u>Mediasn</u>	<u>E.E.</u>			
1	13,07	5	0,52	A	
4	11,96	5	0,52	A	B
3	10,77	5	0,52		B
2		8,03	5	0,52	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

### Presión acumulada 40 días (RAÍZ de x)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RAIZ Presion acumulada 40 ..	20	0,54	0,28	18,76

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Tratamientos	11,39	3	3,80	1,82	0,1970
Repeticiones	19,03	4	4,76	2,28	0,1207
Error	25,03	12	2,09		
Total	55,46	19			

### RAÍZ Presión acumulada 60 d

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
RAIZ Presion acumulada 60 ..	20	0,48	0,17	16,63

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,16	7	0,31	1,57	0,2360
Tratamientos	0,79	3	0,26	1,33	0,3103
Repeticiones	1,38	4	0,34	1,74	0,2053
Error	2,37	12	0,20		
Total	4,53	19			

## Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	agosto	septiembre	octubre	Noviembre	Diciembre
	SEM. 1	SEM. 2	SEM. 3	SEM.4	SEM. 5
Presentación del Tema	<b>X</b>				
Manejo del ensayo	<b>X</b>				
Recolección de los datos		<b>X</b>	<b>X</b>		
Recolección de datos finales		<b>X</b>		<b>X</b>	
Revisión y ajustes de la tesis				<b>X</b>	
Revisión y corrección de la metodología de la tesis				<b>X</b>	
Trabajo final				<b>X</b>	<b>X</b>

## CROQUIS DE DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS

T1	T2	T4	T3	T2
T4	T3	T3	T2	T1
T2	T1	T2	T1	T3
T3	T4	T1	T2	T4



**Elaboración de biodigestores**



**Colecta de estiércol**



**Peso de los componestes**



**Aplicación de la leche**



**Producción de biogás mediante el uso de diferentes materias primas.**



**Evaluación de la producción de biogás bajo supervisión del docente tutor.**



**Medición de cantidad de Biol y peso de la materia orgánica**



**Lectura de pH y obtención de biol de las unidades experimentales.**

