



Grupo eumed.net / Universidad de Málaga y
Red Académica Iberoamericana Local-Global
Indexada en IN-Recs (95 de 136), en LATINDEX (33 DE 36), reconocida por el DICE, incorporada a la
base de datos bibliográfica ISOC, en RePec, resumida en DIALNET y encuadrada en el Grupo C de la
Clasificación Integrada de Revistas Científicas de España.

Vol 12. N° 34

Junio 2019

www.eumed.net/rev/delos/34/index.html

EVALUACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS CON DESECHOS AVÍCOLAS Y BOVINOS PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA

Teresa Vivas Saltos ¹
teresavivas_saltos@outlook.com
Kayna Hidalgo Zambrano ²
kayna.96@hotmail.com
Carlos Delgado Villafuerte ³
car_delgado@hotmail.com
Carlos Luis Banchón Bajiña ⁴
cbanchon@uagraria.edu.ec
Ecuador

CONTENIDO

Resumen	2
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Revisión bibliográfica	5
6. Materiales y métodos	10
2.1. Diseño de bio-digestores	11
2.2. Medición de la cantidad de gas generado	12
2.3. Implementación del biodigestor	12
2.4. Generación de energía eléctrica	13
3. Resultado y discusión	13
3.1. Fase I. Diseño de bio-digestores para medir la eficiencia de la producción del gas metano por la descomposición de la materia orgánica de manera anaerobia	13
3.2. Fase II. Valorar la cantidad de gas generado en función de las composiciones de la mezcla empleada (estiércol bovino y avícola) en el laboratorio	14
3.3. Fase III. Implementar el bio-digestor con el tratamiento más eficiente en la producción de biogás para la generación de energía eléctrica	15
3.4. Fase IV. Generar energía eléctrica a partir del biogás	16
4. Conclusiones	17
5. Referencias bibliográficas	18

¹ Docente de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manabí-Ecuador

² Estudiante de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manabí-Ecuador

³ Docente de Ingeniería Ambiental, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manabí-Ecuador

⁴ Docente de Ingeniería Ambiental, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil-Ecuador

RESUMEN

El crecimiento poblacional y el aumento en la producción agropecuaria tienen una relación directa en la generación de residuos orgánicos que provocan un impacto ambiental, debido al inadecuado manejo en la disposición final. Uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) es el metano producto de la degradación de la materia orgánica libre que contribuye a la contaminación atmosférica. La digestión anaeróbica se presenta como una solución para la gestión de estos residuos, obteniendo beneficios como la producción de energía o fertilizantes. En la presente investigación se evaluó la eficiencia en la producción de biogás con estiércol bovino y avícola para la generación de energía eléctrica, a través del diseño de un digestor a nivel laboratorio tipo Batch con un volumen de 0,027 m³, en donde se valoró la producción de gas a través de la mezcla con una relación 3:1 (excreta, suero de leche, agua, residuos de plátano, melaza y levadura), la cual se comprobó que la mezcla con el mejor tratamiento evidenció una mayor producción de biogás con la mezcla de estiércol bovino que se mantuvo constante durante el experimento la de. Se implantó un biodigestor con el tratamiento más eficiente con un volumen de 0,2 m³, la cual se empleó el 80% para la preparación de la mezcla y el 20% restante para el almacenamiento del biogás, luego se procedió al almacenamiento de este en donde alcanzó una producción de 130,20 litros durante 23 días. El volumen de gas generado permitió evaluar el rendimiento del motor a partir del tiempo de encendido la cual se efectuó durante 15 segundos generando un consumo de energía de 4,5 kW/s en las tres unidades de focos de 100 watts cada uno.

Palabras clave: estiércol avícola –bovino – biodigestor - biogás – energía alternativa

ABSTRACT

Population Growth and the Increase in agricultural Production have a direct Relationship in the Generation of Organic Waste that causes an Environmental impact, due to inadequate management in the final disposal. One of the main Greenhouse gases (GHG) is the methane product of the Degradation of free Organic Matter that contributes to air Pollution. Anaerobic digestion is presented as a Solution for the management of this Waste, Obtaining Benefits such as the Production of energy or Fertilizers. In the present Investigation the Efficiency in the Production of biogas with Bovine and Poultry manure was evaluated for the Generation of Electrical energy, through the design of a digester at Laboratory level Batch type with a Volume of 0,027 m³, where the Production was valued of gas through the mixture with a 3: 1 ratio (excreta, Whey, water, banana residues, Molasses and Yeast), which proved that the mixture with the best Treatment showed a Higher Production of biogas with the Bovine manure mixture that remained Constant During the Experiment. A Biodigester was implanted with the most Efficient Treatment with a Volume of 0.2 m³, which was used 80% for the preparation of the mixture and the remaining 20% for the storage of the biogas, then it was stored in where it reached a Production of 130,20 liters for 23 days. The Volume of gas Generated allowed Evaluating the performance of the engine from the ignition time, which was carried out for 15 Seconds, Generating an energy Consumption of 4,5 kW / s in the three units of 100-Watt bulbs each.

Keywords: poultry manure – cattle– biodigester - biogas – alternative energy.

1. INTRODUCCIÓN

Las descargas de residuos de excreta animal son un gran problema de contaminación atmosférica debido a malos olores (gas sulfhídrico, compuestos orgánicos volátiles) como producto de la descomposición de estos desechos. El estiércol aporta cerca del 25% de emisiones antropogénicas de óxido nitroso, mientras que además el amoníaco y metano son gases que contribuyen con el efecto invernadero (Blazy et al., 2014; Green, 2010; Kroyer, 1995). En Ecuador, la producción del sector avícola ha aumentado su productividad en más del 505% como resultado del aumento del consumo per cápita del kilogramo de pollo, en los últimos 10 años. El incremento fue de 15,8 kg/hab a 23,9 kg/hab entre 2002 y 2012, de manera similar el consumo de huevo per cápita anual paso de 166 a 226 huevos (Gallon & Alcivar, 2012; Jordan & Yancha, 2017). Este incremento ha llevado al sector a implementar medidas que permitan el desarrollo de la construcción de nuevas instalaciones y el aumento de importaciones de materias primas (Roldan, 2013). Inevitablemente, el aumento en las poblaciones avícolas ha conllevado al incremento de la generación de grandes cantidades de residuos orgánicos, como las excretas avícolas que crean polémica sobre afectación al medio ambiente y a cercos urbanos (Velasco-Velasco, 2016). Según los datos de la Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador (CONAVE), el sector avícola produce actualmente 108 mil toneladas métricas de huevos y 406 mil toneladas métricas de carne de pollo (Vinueza, 2012). Así, el crecimiento que se alcanzó fue del 193% y el 588%, respectivamente, en el lapso comprendido entre 1990 y 2009. Se ha reportado que el promedio diario de producción de estiércol fresco de pollos de engorde es de aproximadamente 43 kg por cada 1000 kg de aves vivas (Bolan et al., 2010a). Si tomamos el caso de Brasil, en el cual se produjeron aprox. 13 millones de toneladas de carne de pollo en 2014, la producción de excretas sería de 560 millones de kilogramos (Ferreira et al., 2018a). Por ejemplo, tomando como base la producción avícola objeto de estudio en Calceta (Ecuador), la cual es de 25000 aves, se estarían generando 1070 kg de excretas en un periodo de un año (Pazmiño, 2018).

Los residuos de la industria avícola incluyen una mezcla de excrementos (estiércol), material de lecho como hojarasca, virutas de madera o de paja, residuos alimenticios, aves muertas, huevos rotos y plumas retiradas de gallineros (Epstein, 2017; Kelleher et al., 2002; Ware, Albert, & Gunther, 1999). En términos ecológicos, los gases generados por las excretas son uno de los principales temas de preocupación. Es así que, los gases producidos que se acumulan en el ambiente alcanzan niveles tóxicos, si acaso no hay adecuadas condiciones de los sistemas de ventilación o eliminación. La descomposición incontrolada del estiércol produce gases como las aminas, amidas, mercaptanos, sulfuros y disulfuros (Bolan et al., 2010; Herrera et al., 2013). La volatilización del amoníaco del estiércol crea problemas de olor, y también contribuye a la deposición atmosférica y lluvia ácida. Además, como producto de la contaminación generada por avícolas, se han identificado lixiviados con altas concentraciones de nitratos, y presencia de patógenos, lo cual provoca eutrofización de fuentes naturales de agua y muerte de peces (Edwards & Daniel, 1992). El olor es un problema local, que apenas es cuantificable; el impacto depende en gran medida de la percepción

subjetiva de las poblaciones vecinas a las granjas. Por tanto, es difícil evaluar la distancia máxima a través de la cual se dispersan los malos olores; sin embargo, los problemas de malos olores generalmente se concentran a 500 metros de la granja (Gerber, Opio, & Steinfeld, 2008). Los residuos sólidos de los mataderos de aves de corral se componen principalmente de fragmentos de vísceras, músculo, grasa, hueso, sangre y plumas, que además son un alto potencial contaminante, y responsables de enfermedades (Ferreira et al., 2018b). Por otro lado, en el marco legal sobre el manejo de las excretas de las aves y sus repercusiones al medioambiente, se citan varias normas (Mendez et al., 2009). Para iniciar se puede citar a la Constitución Colombiana de 1991. La guía ambiental del subsector avícola del Ministerio del Ambiente de Colombia (2003) describe que “Las acciones deben ser tendientes a disminuir los olores generados por la granja”. La ley polaca de 10 de julio de 2007 sobre fertilizantes y fertilización impone a las entidades que conducen avicultura o ganadería de más de 40.000 lugares, la obligación de disponer de al menos el 70% de estiércol de cerdos o aves de corral en las tierras de cultivo de los propietarios (Borowski & Weatherley, 2013).

La excreta animal en su estado de descomposición anaerobia produce gas combustible, este gas contiene una alta proporción de metano (CH_4 en concentraciones superior al 60% en el gas), con una potencia calorífica inferior de 5.500 Kcal/m³ y se lo denomina biogás (Baba, Banday, Khan, Khan, & Untoo, 2016). Este combustible ecológico se obtiene en biodigestores y se aprovecha como energía para alcanzar mejoras en el manejo de residuos en zonas rurales. La biomasa se ha convertido en una atractiva opción para que sectores como el agropecuario, que puedan incursionar en la generación de electricidad, produciendo un excedente de energía por encima de sus necesidades a un bajo costo (Bolan et al., 2010b). Variables como pH, alcalinidad, concentración de ácido volátil, temperatura, disponibilidad de nutrientes, y metales pesados, influyen en la producción de biogás mediante digestión anaerobia. En particular, también son influyentes los factores operacionales como composición de sustrato orgánico, tiempo de retención, concentración de sustrato, grado de mezcla, y calentamiento. Por ejemplo, la literatura recomienda una concentración inicial de sólidos entre 4,6 y 7,6% y una temperatura de operación de 35°C (Edwards & Daniel, 1992). Mientras que, se recomienda la adición de carbono fácilmente degradable, así como un inóculo iniciador. Basado en una reseña de informes sobre digestión anaerobia y producción de metano, utilizando estiércol de aves de corral, se recomienda el uso de una relación C: N de 16: 1, durante un tiempo de retención de 40 días, una tasa de carga de 2,4 kg de materia volátil por día y por metro cúbico de volumen de digestión; así como, un volumen de digestor de 3,86 metros cúbicos por cada 1000 kg del desecho animal (Edwards & Daniel, 1992).

Las necesidades energéticas de nuestro planeta utilizan a cerca del 90% combustibles fósiles (petróleo, gas licuado de petróleo, carbono) y continuarán siendo la fuente dominante de energía primaria. Es por tal razón que el trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la influencia del tipo de estiércol (bovino y avícola) empleado en la producción de biogás, para determinar la eficiencia en la generación de energía eléctrica. Los principales aportes del presente trabajo son:

- Control de las emisiones de efecto invernadero
- Tratamiento de residuos sólidos

- Difundir la producción y aprovechamiento de biogás mediante el uso de materia orgánica (excretas de animales y residuos vegetales)
- Generación de energía de forma sostenible

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El estiércol producido por animales de producción comercial no tiene un tratamiento previo o adecuado para su disposición final, lo cual implica un foco de infección latente perjudicial para las personas. Esto también se ha convertido en uno de los mayores problemas que generan impactos en el medio ambiente, esto está relacionado por la emisiones de gases de efecto invernadero, eutrofización de cuerpos de agua y sobrecarga de nutrientes en suelos de cultivo ocasionando la acidificación de la misma, sin embargo, esta práctica tiene un inconveniente, según estudios realizados por Vadas et al., (2011) el estiércol tarda un año en degradarse y poder ofrecer todos sus nutrientes de manera asimilable. Todo esto dependerán en gran medida de la especie pecuaria, del sistema de alimentación y del manejo de la disposición final del estiércol (Pino, et al., 2012).

La aplicación de estiércol en tierras de cultivos proporciona beneficios ecológicos al depositar nutrientes como el nitrógeno y fósforo al suelo. A pesar de ellos la fertilización orgánica, compara con la química, es mínima; por su característica esta aporta a la capacidad de retener agua, el intercambio catiónico y la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión (Pino, et al., 2012). Además, la fracción líquida ayuda a disminuir la pérdida de nitrógeno, carbono y azufre en sus formas gaseosas, en el suelo, así se puede evitar el uso de agroquímicos y ocasionar impactos ambientales. Pero no obstante a esto, el suelo puede ser afectado por la aplicación por los mismos si sus concentraciones son muy altas, esta ocasiona su infiltración por escurrimiento y lixiviado en agua superficiales y subterráneas donde pueden ocasionar intoxicación a las personas o animales que consuman este recurso (Fernández, et al., 2014).

Por lo anteriormente mencionado, es importante conocer la descomposición del estiércol y sus concentraciones porque al combinar con otros fertilizantes pueden causar posibles riesgos de contaminación a diferentes recursos, en la tabla 1 se muestra la composición media del estiércol bovino y avícola.

Tabla 1. Composición media de estiércol Bovino y Avícola

Composición	Bovino	Gallinaza
Materia seca (%)	23	22 o 76 ⁽²⁾
pH	8,17	6,8
Conductividad	4,03	5,78
Materia Orgánica (%) ⁽¹⁾	66,28	64,71
Nitrogeno (%)	1,83	1,74
P ₂ O ₅ (%)	1,73	4,18
K ₂ O (%)	3,1	3,79
Relación C/N	13,9	20,15
CaO (%)	3,74	8,9
MgO (%)	1,08	2,9
Na ₂ O (%)	0,58	0,59
Fe (%)	0,41	0,49

Composición	Bovino	Gallinaza
Mn (mg/kg)	172	506
Contenido en elementos potencialmente tóxicos (mg/kg)		
Zinc	133	452
Cobre	33	177
Níquel	20	27
Plomo	14	19
Cromo	24	63
Cadmio	1	1

(1) Todos los resultados están expresados sobre materia seca.

(2) Ponedoras en baterías y pollo de engorde, respectivamente

Fuente: Serra (1988), Vásquez y Oromí (1989), citado por Barrios, (2005).

También, la calidad del aire se ha convertido en una de las principales preocupaciones ambientales de la industria pecuaria debido a la generación de material particulado menor que 2,5 μm , olores y bio-aerosoles (portadores de esporas microbianas, endotoxinas y micotoxinas suspendidas en el aire), insectos, partes de insectos, gases como el amoníaco (NH_3) generados en la producción, e instalaciones de almacenamiento de estiércol (Bolan et al., 2010; Hayes, Curran, & Dodd, 2006; Roumeliotis, Dixon, & Van Heyst, 2010). De los 150 componentes volátiles identificados de la fermentación de excretas, muchos de ellos se encuentran en concentraciones próximas a 1 ppb, lo cual hace difícil su regulación ambiental (Herrera et al., 2013). Por ende, no es común que todos los países dispongan de regulaciones estrictas para el control ambiental en sectores pecuarios. Por ejemplo, la aerobiología en avícolas, pocos estudios han tratado de cuantificar los niveles de microbios patógenos (esporas o material genético) en aerosoles dentro y alrededor de ambientes avícolas (Chinivasagam, Tran, Maddock, Gale, & Blackall, 2010). Por supuesto, la cuantificación de especies de hongos es también de vital importancia dado su potencial afectación a la vida de los trabajadores. Por ejemplo, se han identificado hongos del género *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* que generan micotoxinas patógenas (Viegas et al., 2012).

Los contaminantes libres hacia la atmosfera por el estiércol se destacan el amoníaco, así como el metano y óxido de nitrosos que forman parte de los Gases de Efecto Invernadero. Las emisiones globales según la Environmental Protection Agency, EPA. (2005) de metano entérico, metano y el óxido de nitroso son 113,40 y 10 T GCO_2Eq . "El metano es un GEI 23 veces más potente que el CO_2 , y el estiércol contribuye con el 16% de las emisiones globales..." (Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2006). Este gas proviene de la fermentación de las heces, y de la digestión anaeróbica de la materia orgánica del estiércol, la cual contribuye con el 50% del total de emisiones de amoníaco hacia la atmosfera, porque su tasa de volatilización es mayor a 23% (Board on Agriculture and Natural Resources, BANR y Board of Environmental Studies and Toxicology, BEST, 2003).

De acuerdo con la IPCC, (2006) "el óxido nitroso es 296 veces más potente que el CO_2 , y México contribuye con 0.7 % de emisiones de este gas por actividades pecuarias en el mundo". El estiércol aporta cerca del 25 % de las emisiones antropogénicas de óxido nitroso, el cual se genera durante los procesos de nitrificación (oxidación biológica de amonio a nitrito y nitrato) y

desnitrificación (reducción de nitrato a nitrógeno gaseoso), donde el intermediario es el óxido nitroso (Stevens & Laughlin, 1998).

La alta demanda del sector pecuario conlleva a los productores a nuevos retos encaminados a buscar alternativas que suplan las exigencias del mercado y optimicen los procesos productivos, y por supuesto contribuyan con la protección del medio ambiente (Espinoza et al., 2018; Herrera et al., 2013; Salminen & Rintala, 2002; Santos Dalólio et al., 2017). Debido a esto, existe a disposición de los avicultores hacia alternativas biológicas para la estabilización de excretas. La digestión anaeróbica es una alternativa de amplia utilización, y más aún con el uso de microorganismos eficientes (Bolan et al., 2010; Williams, 2018; Yenigün & Demirel, 2013). Por ejemplo, se aplican sistemas termofílicos para la digestión anaerobia, la cual convierte el estiércol animal en metano; y también, las plumas son fermentadas en proteína mediante la bacteria *Bacillus licheniformis* (Jayathilakan, Sultana, Radhakrishna, & Bawa, 2012).

La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera un gas denominado biogás, cuyos componentes principales son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) (FAO, 2011). De acuerdo a Frigon & Coautores, (2012) la mezcla de residuos de excreta animal y vegetal produce un alto rendimiento en la producción de biogás con un 86%. Sobre la composición de las excretas, esta varía según el tipo de alimentación (contenido de proteína en la dieta animal), edad y condiciones ambientales (Sakar, Yetilmezsoy, & Kocak, 2009). En la siguiente tabla 2 se expone las cantidades de estiércol y el rendimiento de gas de los mismo tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

Tabla 2. Cuadro Indicativo de Cantidades de estiércol producido por distintos animales

Especie	Peso Vivo (Kg)	Estiércol/día	Kg Solidos Volátiles	%CH ₄
Cerdos	50	4,5 – 6	340 – 550	65 – 70
Vacunos	400	25 – 40	90 – 310	65
Equinos	450	12 – 16	200 – 300	65
Ovinos	45	2,5	90 – 310	63
Aves	1,5	0,06	310 – 620	60
Caprino	40	1,5	110 - 290	-

Tomado de: Hilbert, (2003).

Lo expuesto por Varnero, (2011) las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los Tiempo de Retención Hidráulico TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional (ver Tabla 3):

Tabla 3. Tiempo de retención hidráulico THR

Tiempo de Retención Hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América central

Tiempo de Retención Hidráulico	Características
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej India, Filipinas, Etiopía
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía

Elaborado por Varnero, (2011).

Según Varnero, (2011), establece que con el TRH se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor.

La tecnología en diseños de biodigestores ofrece soluciones a problemas ambientales como disposición final de estiércol de ganado. El uso de biogás generado por el biodigestor, sirve como biocombustible para múltiples aplicaciones como en cocinas, calefacción, iluminación, generadores eléctricos, etc. (Quipuzco, et al., 2011). Los biodigestores desempeñan papel fundamental en los sistemas agrícolas y ambientales integrados al reducir los riesgos de salud, lo que facilita el control de la contaminación y al mismo tiempo agregar valor a los excrementos del ganado en la producción de biogás o biofertilizantes. De acuerdo a datos presentados en un informe por Cañas y Viquez (2012), se tiene que un metro cúbico (m³) de biogás es igual a 6.000 kilocalorías. Haciendo una comparación de biogás con otras fuentes de energía, un metro cúbico de biogás es el equivalente de:

- 6,8 kilovatios de electricidad
- 0,6 metros cúbicos de gas natural
- 0,8 litros de gasolina
- 1,2 litros de alcohol combustible
- 0,3 kilogramos de carbón
- 0,71 litros de fueloil
- 1,5 kilogramos de madera

Para Ramírez, L. (2004) las aplicaciones de generación eléctrica por medio de biogás, se alimenta el motor de combustión interna con biogás, que está conectado a un generador. Estos motores pueden consumir GLP, gasolina o diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido. La potencia mecánica provista por el eje del motor es aprovechada para generar electricidad, simultáneamente y por medio de una serie de intercambio de calor ubicado en los sistemas de refrigeración (agua y aceite) del motor y en la salida de los gases de escape, se recupera la energía termina liberada en la combustión interna (Hilbert, 2003).

Un trabajo realizado por la (Universidad Earth, 2004) cuyo tema fue la utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos dentro de la metodología para la adaptación del motor de

gasolina consistió en la elaboración de una pieza que permitiera la introducción de una mezcla de biogás; aire al cilindro del motor, para lo cual se utilizaron materiales de PVC en su mayoría, ya que estos son de fácil obtención y de bajo costo. Para la realización de la prueba del uso de biogás en el motor de gasolina de cuatro tiempos, se utilizó un motor marca Honda de 5 HP (3,7 kwh), modelo GX 140 MAX, de 144 cm³.

Donde se puede observar el tipo y cantidad de materiales utilizados y la disposición de cada uno de ellos en la pieza elaborada. De acuerdo con la foto 1, se puede notar que el principio fundamental de la pieza lo representa la T de PVC, la cual sirve de mezclador de biogás-aire; Con la utilización de biogás, se logró sustituir el 100% del combustible (gasolina), por lo cual, de acuerdo con los resultados, cada hora de uso del motor con biogás, permite ahorrar 2.213,59 ml de gasolina. El consumo de biogás fue de 0,55 m³/hora, lo que significa que, con este tipo de motor, 1 m³ de biogás equivale a 4,025 L de gasolina.

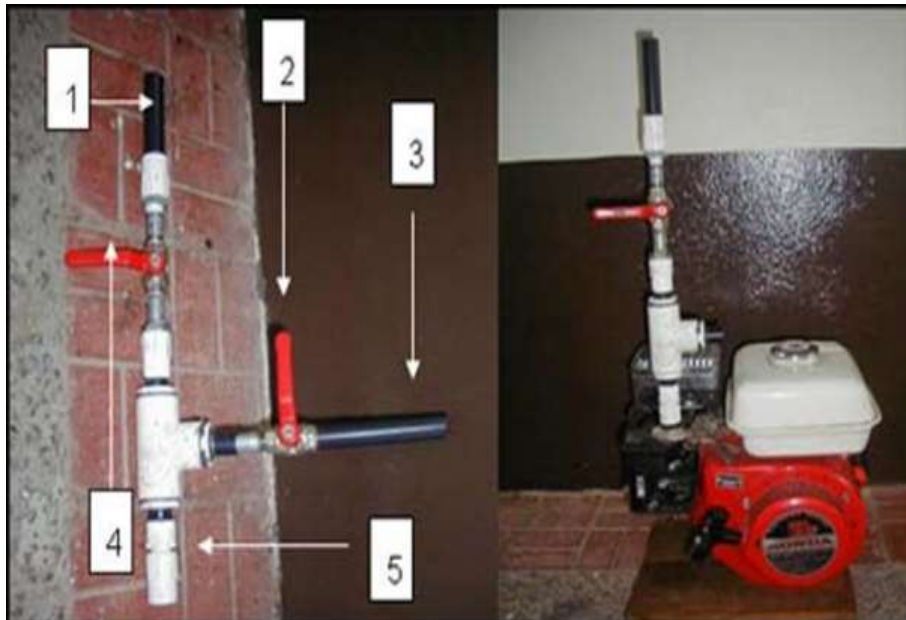
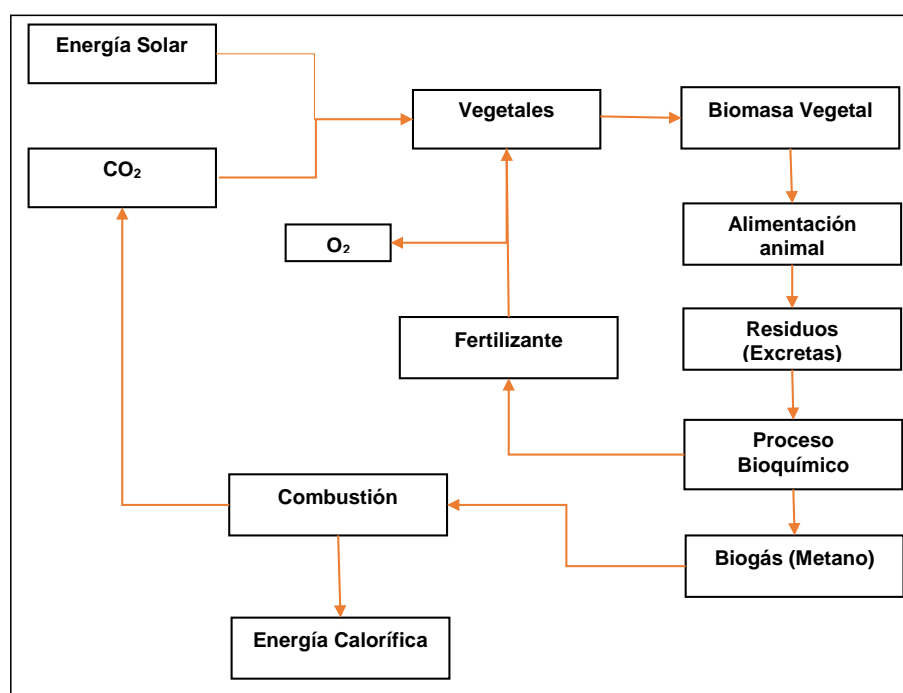


Foto 1. Adaptación de motor usando como combustible gas (1) Tubo de entrada de biogás, (2) Válvula de admisión de aire, (3) Tubo de entrada de aire, (4) Válvula de admisión de biogás, (5) Entrada al motor de la mezcla aire-biogás.
Fuente: Universidad Earth, (2004).

De acuerdo a investigaciones realizada por Pérez, et al., (2010) Con un mínimo de 20 animales es posible generar energía eléctrica del orden de 4,4 (kWH) y se aprovechada a través de un generador eléctrico alimentado con biogás. Sistemas de biodigestión anaeróbica pueden ser considerados instrumentos importantes de racionalización de la producción y del uso de energías renovables en la agricultura, principalmente en escalas menores de producción. La adopción de estos sistemas por los productores rurales depende de su viabilidad técnica y económica. Otra alternativa para aprovechar los residuos que se obtiene después de pasar el proceso de biodigestor puede ser utilizada como biofertilizantes para la producción agrícola (Vera, et al., 2013).

Martínez, (2015) expresa que en países en desarrollo y con una visión social clara en el uso de los recursos disponibles, el uso adecuado de la biomasa para la producción energética alternativa, debe provenir de aquellos recursos residuales que se encuentran para iniciar su fase de

descomposición y no emplear recursos aprovechables con propósitos más importantes como la alimentación humana. Martínez, (2015) establece que actualmente, la generación de electricidad es la segunda responsable en la producción de Gases de Efecto Invernadero, especialmente el CO₂ y menos del 10% de las fuentes primarias de energía son limpias o no basadas en combustibles fósiles. El reto de esto es que en un futuro se aprovechen otras fuentes de energía alternativas a partir de residuos sólidos, ya que, a diferencia de los combustibles provenientes de fuentes de hidrocarburos, los obtenidos a partir de la biomasa, no modifican la cantidad de CO₂ en la atmosfera, ya que proviene de un ciclo cerrado como lo muestra la segunda figura 1.



Fuente: Martínez, (2015).

Figura 1. Ciclo de carbono resumido en un proceso de extracción de energía de biomasa animal

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto de investigación se realizó en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Feliz López”, ubicada en el sitio El Limón de la parroquia Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí. La ubicación geográfica con coordenadas 00°49’23” de latitud sur y 80°11’01” de longitud oeste, con una altitud de 15msnm (Ver Figura 2). Las muestras fueron tomadas de fincas cercanas del lugar de la investigación. La recolección del estiércol bovino en la hacienda La Esperanza ubicada en el km 1 vía Canuto y el estiércol avícola en la Granja Mia Vitar.

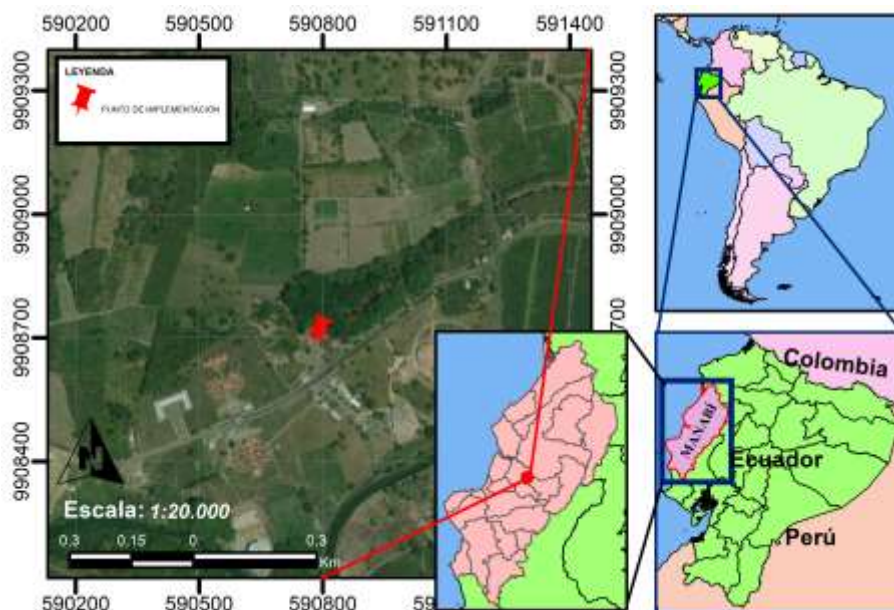


Figura 2. Mapa de ubicación del biodigestor

2.1. Diseño de bio-digestores

En esta fase se seleccionaron parámetros de diseño a escala laboratorio según la metodología realizada por Campos (2011), los cuales son: volumen total de digestor, volumen de la cámara de fermentación y volumen de la cúpula. El reactor de plástico PVC tuvo una capacidad volumétrica de 30 litros, la cual contó con accesorios: tapas, válvula de seguridad y válvula de paso para la extracción del biogás (Figura 3). El reactor fue de escala laboratorio para medir la eficiencia de la producción del gas metano por la descomposición de la materia orgánica de manera anaerobia.

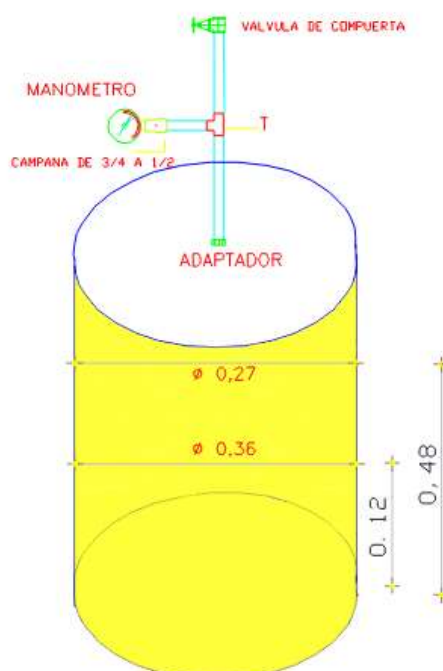


Figura 3. Diseño del Biodigestor prueba laboratorio

Para la preparación de la mezcla se consideró la metodología realizada por (Murillo y Zambrano, 2012), donde tuvo una relación 3:1, por cada 1 parte de estiércol se colocaron 3 partes de suero de leche y residuo de la planta de plátano. También se añadió levadura como microorganismo de aceleración del proceso fermentativo. Estas cantidades se establecieron de acuerdo al volumen del biodigestor el cual ocupó un 80% para la mezcla y el 20% restante para la generación de gas.

2.2 Medición de la cantidad de gas generado

Se determinó la mezcla más eficiencia en función a los datos obtenido de presión y temperatura. Para esto se utilizó un termómetro digital y un manómetro de 30 PSI; los datos fueron obtenidos diariamente por 17 días consecutivos (Ver gráfico 1 en resultados).

2.3 Implementación del biodigestor

Para el diseño del biodigestor se consideraron los parámetros de diseño (Jiménez, D. (2012) se utilizó un tanque para la preparación de la mezcla de 200 L de volumen; y para almacenar el gas un tanque de material de Poli-cloruro de vinilo (PVC) donde se manipuló un tinaco de marca INDELTRO®. Se realizó la preparación de mezcla con la relación establecida 3:1 y también en función al volumen del tanque establecido para la investigación (Ver Figura 4).

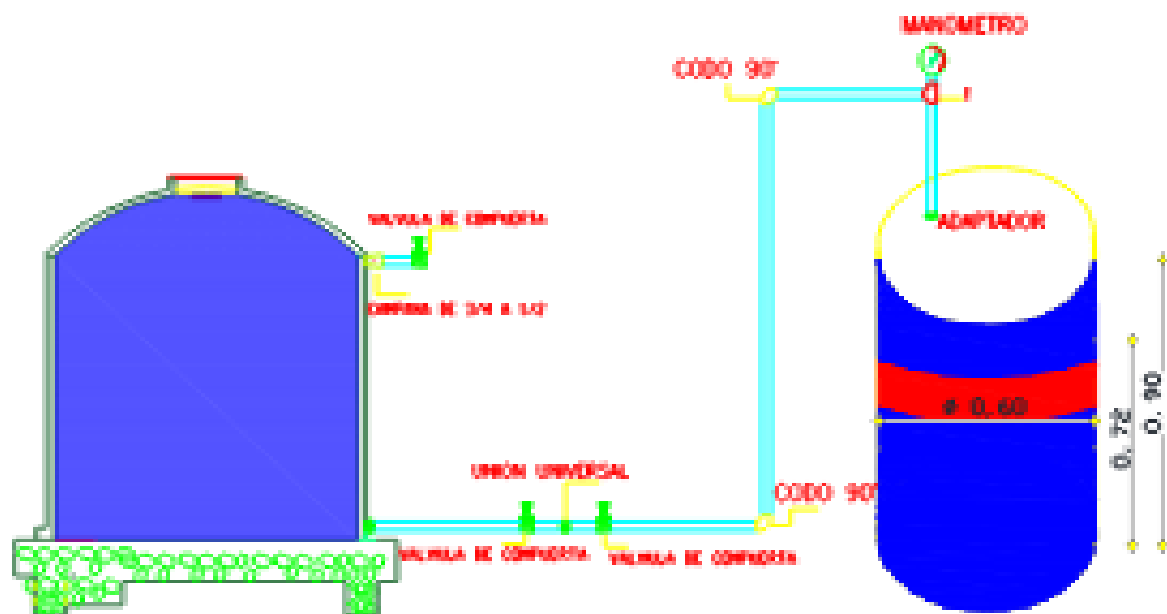


Figura 4. Diseño del Biodigestor para la producción de biogas

Luego, se calculó la cantidad de gas generado (ver gráfico 2 en resultados), mediante la toma de temperatura y presión se determinó el volumen de gas aplicando la siguiente formula (Filippín *et al.* 1998):

$$pV = nRT$$

Donde:

- R = Constante de proporcionalidad o constante de los gases
- V = Volumen
- P = Presión
- T = Temperatura
- n = Número de moles

2.4 Generación de energía eléctrica

Para disminuir las impurezas de biogás se procedió a elaborar un filtro purificador, la cual consistió en remover agua (carbón activado o sílica gel) y sulfuro de hidrógeno (esponjilla de cocina comercial o virutas de hierro), la cuales son muy corrosivo para el motor y sus componentes, para esto se utilizó la metodología realizada por metodología Varnero, (2011).

Tabla 4. Características generales del biogás

Composición	55-77% metano (CH ₄) 30-45 dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0-6.5 kW/h m ³
Equivalente de combustible	0.60-0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6-12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750°C
Presión crítica	74-88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg/kmol

Fuente: Varnero, (2011)

Luego, se apropió el motor la cual consistió en la elaboración de una pieza que permitirá la introducción del biogás; aire al cilindro del motor de acuerdo a investigaciones realizada por la Universidad Earth, (2004). Por último, se realizó la medición de encendido del motor para determinar el rendimiento del volumen de gas almacenado, la cual dicha energía producida logra alimentar 3 unidades de focos.

3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.1 Fase I. Diseño de bio-digestores para medir la eficiencia de la producción del gas metano por la descomposición de la materia orgánica de manera anaerobia

Investigaciones realizadas por la Univ. Nacional del Nordeste por Hilbert (2003) un tipo de bio-digestor común, se construye con un tanque plástico de forma cilíndrica levemente abombada. Para medir la obtención del biogás se procedió a la construcción de digestores a escala laboratorio utilizando tanques de polietileno las cuales contaban con las condiciones óptimas donde facilitaron el llenado y la homogenización de la misma para la producción de biogás, en la siguiente tabla se muestra las características de los tanques para los parámetros de diseño:

Tabla 5. Volumen del diseño del bio-digestor

Parámetros	Resultados (m ³)
Volumen total del digestor	0,027
Volumen de la cámara de fermentación	0,0216
Volumen de la cúpula	0,0054

Dentro de los bio-digestores (bovino y avícola) se implantó una mezcla con un volumen total de 0,0216 m³, dejando un espacio libre para la generación de gas con un volumen de 0,0054 m³. La mezcla en cada bio-digestor tuvo las siguientes medidas:

Tabla 6. Porcentaje y volumen de preparación de la mezcla

Componente de la mezcla	Porcentaje %	Volumen (litros)
Excreta Bovino	25	6
Excreta avícola	25	6
Suero de leche	33	8
Agua	33	8
Residuo de tronco de plátano, melaza y levadura	9	2

Este proceso se asemeja a lo estipulado por Acuña (2015) en donde menciona que para determinar la carga inicial se debe calcular el volumen de la mezcla el cual debe entrar al biodigestor, tomando en cuenta que debe ingresar solamente un 80%, pues el 20% restante queda como espacio libre para la formación de biogás.

3.2 Fase II. Valorar la cantidad de gas generado en función de las composiciones de la mezcla empleada (estiércol bovino y avícola) en el laboratorio

En el siguiente grafico se exponen los resultados obtenidos de la temperatura registrada en los diferentes tratamientos (mezcla de estiércol bovino y avícola relación 3:1 en ambas) durante 17 días de retención. En el grafico 1, se puede apreciar la eficiencia de la presión tanto de la mezcla bovina y la mezcla avícola en los 17 días de retención. Guerrero *et al.*, (2016), expresan que la adición de residuos ricos en nitrógeno aumenta significativamente la producción de biogás, con base a esto se puede decir que el residuo de cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*) ayudó al incremento de generación del gas.

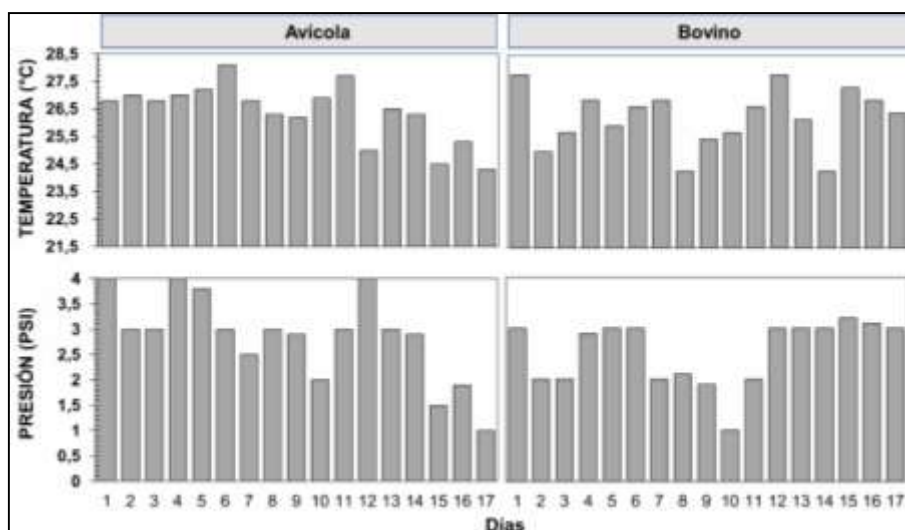


Gráfico 1. Datos de temperatura y presión de la mezcla empleada

La mezcla de estiércol bovino obtuvo en una presión con un promedio constante durante el tiempo de retención. La mezcla de estiércol avícola se registró una decreciente de presión tal como lo demuestra la figura, lo que indica que la materia orgánica ya ha sido degradada y por ende los

microorganismos empiezan a morir y la generación de gas disminuye. En conclusión, el tratamiento con mayor eficiencia en la producción de biogás es la mezcla con el estiércol bovino, ya que la curva se mantuvo durante los últimos días de toma de datos. Cabe mencionar que en el día 10, ambas mezclas mostraron un descenso de presión, esto puede haberse afectado por las condiciones meteorológicas tal como lo manifiesta Poggio, (2007) en donde establece que la producción específica de gas depende directamente de la temperatura.

La temperatura atmosférica es uno de los parámetros más importantes en la producción de metano, cuando las bacterias se encuentran en un ambiente con temperaturas bajas sufren un largo proceso de adaptación por la cual su actividad tiende a disminuir drásticamente. El mismo autor menciona que el flujo de calor a través del digestor depende de las condiciones térmicas del aire y suelo, de la geometría del digestor, del material de construcción, del tipo y cantidad de aislamiento. Golueke (1958) en su estudio determina que, si una población de microorganismos en un digestor no se encuentra adaptado a un cambio de temperatura media de cada región. Esto puede afectar negativamente la actividad bioquímica del proceso anaeróbico, afectando el TRH y la productividad de CH₄ o biogás.

De acuerdo a la literatura, Yépez, (2017) establece que el aumento de la temperatura en la digestión anaeróbica incrementa velocidad de las reacciones bioquímicas, reduciendo los tiempos de retención requeridos en el proceso. En el presente estudio la eficiencia en cuanto a la variable temperatura se puede observar que la mezcla con estiércol bovino la temperatura se incrementa durante los últimos días, mientras que la mezcla de estiércol avícola la curva decrece. En principio la menor presión determina una menor disolución de CO₂ en la mezcla, causando un mayor pH del líquido y una mayor concentración de CO₂ en el biogás.

3.3 Fase III. Implementar el bio-digestor con el tratamiento más eficiente en la producción de biogás para la generación de energía eléctrica

De acuerdo con Cañas y Viquez, (2012) el estiércol bovino genera más biogás con una producción diaria de 0,40 m³ diario y las aves solamente 0,14 m³ al día. Para implementación del bio-digestor con la mezcla más eficiente (estiércol bovino) se lo realizó en un digestor metálico de 200 litros de capacidad, las cuales contaba con las condiciones óptimas para la preparación y la homogenización de la mezcla con un volumen de:

Tabla 7. Porcentaje y volumen de preparación de la mezcla

Componente de la mezcla	Porcentaje %	Volumen (litros)
Excreta Bovino	25	40
Suero de leche	33	53
Agua	33	53
Residuo de tronco de plátano, melaza y levadura	9	14

Luego se valoró la cantidad de gas generado, de acuerdo con Laines y Sosa (2013) determina que se debe considerar un rango de 4 a 12 días para el inicio de la producción del biogás en condiciones anaerobias, esto debido al crecimiento exponencial de las bacterias metanógenas,

y al proceso por el cual debe pasar la materia orgánica para que esta pueda degradarse como la fase de hidrólisis, luego acidogénica, acetogénica y metanogénica.

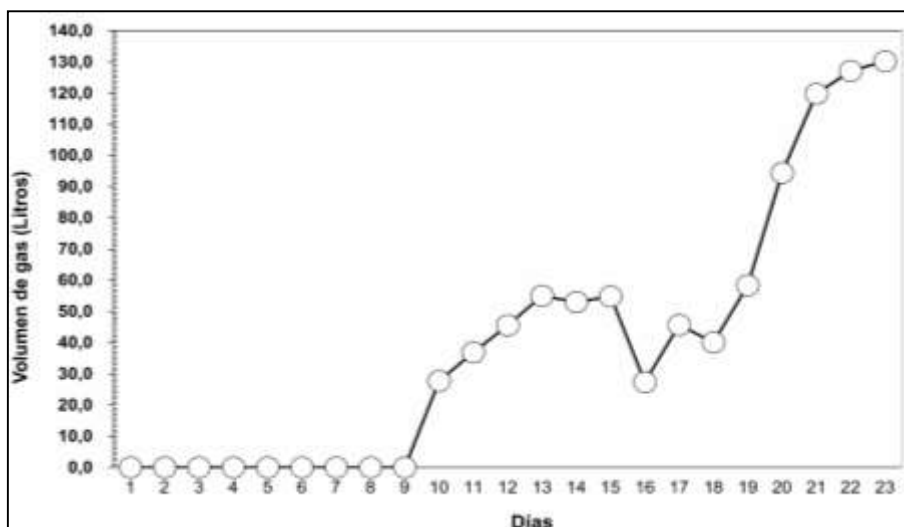


Gráfico 2. Volumen del gas generado

La producción de biogás inició al décimo día generando 27,73 litros, siendo este el más bajo en producción. Se registró un incremento progresivo en los siguientes días, alcanzando un volumen máximo en los días 20 al 23, llegando a este último con 130,20 litros de gas; considerando que la población microbiana está creciendo de forma exponencial y por tal razón ayudando al proceso de degradación de la materia orgánica. La generación de biogás es un proceso que obedece primordialmente al tiempo de retención de la materia orgánica, período necesario para que los microorganismos responsables de la degradación de los residuos procedan a liberar energía (Colmenares, 1987; citado por Díaz *et al.*, 2012).

3.4 Fase IV. Generar energía eléctrica a partir del biogás

De acuerdo con Grass, (2013) las impurezas del biogás disminuyen su calidad (poder calorífico) y pueden tener contaminantes en niveles que no permitan su combustión, para esto se instaló un purificador de biogás para la remoción de agua utilizando carbón activado y para la remoción de sulfuro de hidrogeno (H_2S) utilizando esponjillas de cocina de marca comercial.

Luego se procedió a la adecuación del motor de gasolina de cuatro tiempos (10 Hp), la cual consistió en la colocación de una pieza de PVC de 10 cm en el carburador del motor para que el biogás ingrese directamente al cilindro donde se realiza la combustión del combustible y así generar energía. Según Hilbert, (2003) en los motores de combustión interna el carburador convencional es substituido por un mezclador de gases, estos son arrancados con nafta y luego siguen funcionando con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%.

Con lo estipulado por Mendoza & Zambrano, (2017) quienes usaron la misma metodología se procedió a dar inicio al encendido del motor para encender 3 unidades de focos de 100 Watt; se usó inicialmente gasolina con el fin de que el motor comience a trabajar, luego se procedió a cerrar el pase de gasolina hasta llegar al punto de que el motor comience a apagarse y de inmediato dar inicio al pase del biogás donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8. Medición de la energía eléctrica

Combustible	Focos Apagado (Voltios)	Focos Encendido (Voltios)	Tiempo de encendido (segundos)
Gasolina	85	80-83	60
Biogás	80	75-80	15

En la presente observación de campo, se analizó el comportamiento del motor utilizando gasolina como testigo y el biogás como parte de experimento. Se obtuvo un volumen de biogás final de 130,20 litros en un tiempo de retención de 23 días; esto provocó que el motor se mantuviera encendido por el tiempo de 15 segundos generando una tensión de 80 voltios con un amperaje de 1,25 con los focos apagados. Iniciando el encendido de las 3 unidades de focos de 100 watt, generando una corriente de 75-80 voltios con un amperaje de 1,29.

De acuerdo al manual de biogás expuesto por la FAO, (2011), las características generales establecen que su contenido energético es de 6 a 6,5 kW/h por cada m³ de gas. En el estudio, al alimentar las tres unidades de focos con un total de potencia de 300 watt que mantuvo encendido el motor por 15 segundos, esto obtuvo como resultado un consumo de 4,5 kW/s en función del volumen de gas obtenido. Se podría estimar que por cada metro cubico de biogás generado, se producen 34,56 kW/s de potencia.



4. CONCLUSIONES

Se diseñaron biodigestores a escala laboratorio con un volumen total de 0,027 m³, en la cual se empleó una mezcla de estiércol (bovino y avícola), residuo de plátano, suero de leche, agua, melaza y levadura con una relación 3:1, es decir, por cada tres parte de agua, una de materia seca. Se implantó en cada tratamiento una mezcla con un volumen de 0,0216 la cual equivale al 80% de volumen del tanque, dejando un espacio del 20% para el almacenamiento del biogás.

La valoración de la eficiencia de la producción de biogás en los dos tratamientos se obtuvo a partir de la medición de temperatura y presión. Los promedios generados de presión durante los 17 días de retención para la mezcla bovina fueron de 3,2 psi, siendo la más alta y 1 psi la más baja,

esta se mantuvo constante durante; en cambio la mezcla avícola la más alta fue de 4 psi, pero en el día 14 presento un descenso llegando a 1 psi de presión. En conclusión, la mezcla más eficiente en función del tiempo en la producción de biogás es la empleada con estiércol bovino de acuerdo a las gráficas expuestas en los resultados.

Se implementó un biodigestor con el tratamiento más eficiente con un volumen de 0,2 m³, la cual se empleó el 80% para la preparación de la mezcla y el 20% restante para el almacenamiento del biogás. La mezcla de igual forma tuvo una relación 3:1, donde se empleó 40 litros de excreta bovina, 53 litros de suero de leche, 53 litros de agua y 9 litros de sustratos que permitió una rápida producción de biogás.

El volumen de gas generado durante los 23 días tuvo un total de 130,20 litros la cual mantuvo encendido el motor por 15 segundos, esto obtuvo como resultado un consumo de energía de 4,5 kW/s en las 3 unidades de focos de 100 watt cada uno.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, V. 2015. Diseño e implementación de un biodigestor para el tratamiento de excretas de ganado bovino Cadet-Tumbaco 2015. (En línea). EC. Consultado, 15 de enero 2017. Formato PDF. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6441/3/T-UCE-0004-18.pdf>
- Alonso-Estrada, D., Lorenzo-Acosta, Y., Días-Capdesuñer, Y., Sosa-Cáceres, R., Angulo-Zamora, Y. (2014). Tratamiento de residuales porcinos para la producción de biogás. ICIDCA. Sobre los derivados de la Caña de Azúcar. 48(3): 16-21.
- BANR (Board on Agriculture and Natural Resources) and BEST (Board of Environmental Studies and Toxicology). (2003). Air Emissions from Animal Feeding Operations: Current Knowledge, Future Needs. The National Academic Press. Washington, D.C. USA. pp: 225.
- Belmuda, A. 2015. Evaluación de la producción de biogás a partir de la degradación de gallinaza sometida a diferentes relaciones. (En línea). Formato PDF Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec>
- Campos, B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 20(2): 37-41
- Cañas, I. y Viquez, M. (2012). Utilización de biogás para electricidad. Proyecto Piloto Finca Agropecuaria. Centro Nacional de Planificación Eléctrica. Costa Rica. CR. pp 31-33.
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz, M., Suárez, J., Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Pastos y Forrajes. 25(2):
- De Klein, C. A. M., C. Pinares-Patiño, and G. C. Waghorn. (2008). Greenhouse gas emissions. In: McDowell, R. W. (ed). Environmental Impacts of Pasture-Based Farming. Ag Research Invermay Agricultural Centre Mosgiel. New Zealand Cab International. Cambridge, UK. pp: 1-32.
- Díaz, B; Espitia, S y Molina, F. (2002). Digestión Anaerobia. 164-37 p. ISBN 95870111
- EPA (Environmental Protection Agency). 2005. Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2005. United States Environment Protection Agency, USA. pp: 393.

- FAO. (2011). Manual de biogas. Proyecto: Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. Santiago de Chile, Chile. CL. pp. 6-110
- Fernandez, V; Rodriguez, L y Aquino, N. (2014). Generación de energía renovable a partir de desarrollo de actividades pecuaria en el departamento de Madre de Dios. Ciencia amazónica (Iquitos) 2014; 4(1): 67-7
- Filippín, C., Rapallini, A. y Casagrande, G. (1998). Análisis de las Restricciones Ambientales y Socio-económicas para el Desarrollo de Proyectos Solares en la Provincia de La Pampa, In Actas de la XIII Reunión de Trabajo de ASADES, Asociación Argentina de Energía Solar, Voll, 123-132.
- Flotas, X; Campos, E y Bonmatí, A. (1997). A provchamiento energético de residuos ganaderos. 3r Cur d'Enginyeria Ambiental. Aprofitament energetic de residus oganics. Lleida, pp 27-29
- Frigon, J.-C., & Coautores. (2012). Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure with Mulched Switchgrass for Improvement of the Methane Yield. Bioprocess and Biosystems Engineering, 35, 341-349.
- Golueke, C. G. (1958). Temperature effects on anaerobic digestion of raw sewage sludge. Sewage and Industrial Wastes, 30(10), pp. 1225-1232
- Guerrero C., Peláez C., Molina F. Evaluación de la co-digestión anaerobia de lodos de aguas residuales municipales con residuos de alimentos. Grupo GAIA, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia UdeA, Medellín, Colombia. Rev.ion;29(1):63-70.
- Grass, B. (2013). Evacuación y diseño para la implementación de un planta dde biogás a partir de residuos orgánicos agroindustriales en la región metropolitana. (En línea). Consultado, 4 de jul. 2018. Formato PDF. Disponible en:
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113095/cf-grass_bp.pdf?sequence=1
- Hilbert, J.A.; (2003). Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires, 57p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H. S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds). Published: IGES, Japan. Vol 4. (10) pp: 87.
- Jiménez, D. (2012). Evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio tipo continuo. (En línea).ME. Consultado, 9 de Enero de 2018. Formato PDF. Disponible en:
<http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31560/1/delamercedjimenezdiego.pdf>
- Laine J y Sosa J (2013). Degradación anaerobia del contenido gástrico ruminal bovino para la obtención de biogás, en un biodigestor tipo cúpula. Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 17, No. 1, 2013, ISSN 1665-529-X.
- Liam P. Weiss y Normand St-Pierre, 2009. Estrategias de alimentación para disminuir la producción de estiércol de vacas lecheras. (En línea). EC. Formato PDF. Disponible en:
<http://www.produccion-animal.com.ar>.
- Martínez, M. (2015). Producción potencial de biogás empleando excretas de ganado porcino en el estado de Guanajuato. Nova Scientia, vol. 7, núm. 15, 2015, pp. 96-115

- Mendoza, L & Zambrano, D. (2017). Comportamiento de un motor alimentado con biogás, producido a partir del aprovechamiento de excretas de ganado bovino. (En línea). EC. Formato PDF. Disponible en: <http://repositorio.espm.edu.ec/bitstream/42000/595/1/TMA115.pdf>
- Murrillo, P y Zambrano, L. (2012). Biodigestor de los desechos generaos en la extracción de aceite de semilla de higuera (ricinus communis) para la obtención de biogás. Tesis. Ing. Ambiental. ESPAM MFL. Calceta-Manabí, EC. p 23,24 y 33
- Perez, J. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. (En línea). Formato PDF. Obtenido de: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-perez_jm/pdfAmont/cf-perez_jm.pdf
- Pinos, J; Garcia, J; Peña, L; Rendón, J; Gonzalez, C y Tristán, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa. *Agrociencia* 46: 359-370.
- Pino, M. (2015). Manabí provincia pionera del ecuador en tenencia de ganado, no destaca en producción de leche. *Revista Contribuciones a la Ciencias Sociales*. ISSN: 1988-7833. Obtenido de: <http://www.eumed.net/rev/cccss/2017/01/manabi.html>
- Poggio, D (2007). Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano. Bachelor Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. Obtenido de: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/4109>
- Ramírez, L. 2004. Generación eléctrica por medio de biogás. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Costa Rica.IE-0502
- Romero, S. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*. Vol. 104, Nº. 2, pp 331-345
- Stevens, R. J., and R. J. Laughlin. (1998). Measurement of nitrous oxide and di-nitrogen emission from agricultural soils. *Nutr. Cycling Agroecosyst*. 52: 131-139
- Universidad Earth, 2004. Utilización de biogás para uso en motores de cuatro tiempos. (En línea).PR. Consultado, 9 de Enero 2018. Formato PDF. Disponible en: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000091.pdf>
- Vadas P.A., Aarons S.R., Butler D.M., Dougherty W.J. (2011). A New Model for Dung Decomposition and Phosphorus Transformations. *Soil Research*, volume 49, PP: 367-375.
- Varnero, T. (2011). Manual de biogás. Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables: Chile. (En línea). Consultado, 23 de jun. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Vera, I; Jaramillo, M; Martinez, J y Ortiz, S. (2013). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica parte I: excreta de ganado bovino y porcino. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, volumen XV (número 3), julio-septiembre 2014: 429-436. ISSN 1405-7743 FI-UNAM
- Yépez, L. 2017. Evaluación del incremento de la temperatura en la digestión anaeróbica de King Grass y gallinaza para la producción de metano. Ho. (En línea). Formato PDF. Obtenido de: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6197/1/IAD-2017-048.pdf>