
Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio.

Comparison of two types of biomass for generation of biogas from excretas of porcine cattle and bovine in the laboratory.

Espicio Monteros C.

Luis C. Durand M.

Eduardo Mora T.

Edgar M. Santos V.

espicio3@yahoo.com /

Luis.Durand@cutonala.udg.mx /

energia301009605@hotmail.com /

mau_iq84@hotmail.com

Fecha de recepción: Abril de 2017

Fecha aprobación: Junio de 2017

Para citar este artículo: Monteros C, E., Durand M, L. C., Mora T, E., & Santos V, E. (2017). Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio. *Tecnogestión*, 14(1).

Resumen

En este trabajo de investigación se aplicó el proceso de digestión anaerobia para la obtención de biogás a partir de excretas de ganado porcino y vacuno. Para tal propósito se implementaron dos tipos de experimentos: el primero se efectuó por duplicado tanto para excretas de ganado porcino como vacuno, utilizando matraces kitazato de cristal con una capacidad de 500 mL, como biodigestor de la mezcla agua-excretas. Posteriormente los matraces se introdujeron en una tina de agua calentada con una resistencia eléctrica a una temperatura a 34 °C, bajo las cuales se considera mejorar el crecimiento de las bacterias metanogénicas. En el segundo experimento se utilizaron los matraces kitazato de 500 mL como biodigestor, tanto para excretas de

ganado porcino como vacuno y se expusieron en el laboratorio a temperatura ambiente. El objetivo de esta experimentación es comparar la producción de biogás entre ganado porcino y bovino en los dos experimento, para ello se determinó la producción diaria de biogás, así como se identificó la presencia de CO₂, CH₄, H₂S mediante el análisis con el infrarrojo, MiniRAE 2000 PDI (CH₄), GasAlert Quattro de BW Technologies (H₂S, CH₄) y IEQ Check de Bacharach (CO, NO₂ y CO₂).

Abstract

In this research the anaerobic digestion process was applied for the obtention of biogas from pigs and cattle manure. For that purpose two types of experiments were implemented; the first one was performed in duplicate for both pig manure and

cattle using flasks kitazato of glass with a capacity of 500 ml as biodigester of the mixture water-excreter. Subsequently the flasks were introduced in a tub of water heated by an electrical resistance at a temperature to 34 °C under which it is considered to enhance the growth of methanogenic bacteria. In the second experiment used the kitazato with a capacity of 500 mL flasks as biodigester for excretas of pig and beef both were exposed in the laboratory at ambient temperature. The objective of this experiment is to compare the production of biogas between

porcine and bovine cattle in both experiments, This determined the daily production of biogas, as well as The presence of CO₂, CH₄, H₂S this was identified with the infrared analysis MiniRAE 2000 PDI (CH₄), GasAlert Quattro de BW Technologies (H₂S, CH₄) y IEQ Check de Bacharach (CO, NO₂ y CO₂).

Palabras clave: Biogás, anaerobio, metanogénesis, medio ambiente.

Keywords: Biogas, anaerobic, methanogenesis, environment.

Introducción

El desarrollo de la biotecnología para obtener productos útiles para el ser humano y de su entorno, ha demostrado ser una alternativa viable y competitiva con respecto de otras tecnologías para obtener energía, entre otras aplicaciones, a través de la utilización de los desechos animales contribuye a la reducción de la contaminación ambiental (Hiler y Stout, 1985).

En México la biotecnología ambiental es un reto importante por las características y diversidad biológica presentes en el país, “los dos sectores que se considera más importantes por sus implicaciones actuales y futuras para el desarrollo de nuestro país son: Agua y Energía” (Valle y Ortega, 2012). En la actualidad el país depende de la energía derivada del recursos fósiles, “la biotecnología solo abastece el 5% (432 PJ en 2008) de la energía primaria. Se estima que el potencial actual de los recursos bioenergéticos en México pueden producir hasta 3569 PJ que equivale a 46% de la oferta interna bruta de energía primaria en 2008. Diez veces más de la que se usa actualmente (Rembio, 2011).

Los biocombustibles representan una oportunidad de suministrar una parte de la energía necesaria para las demandas en materia de energéticos, aunque hasta el momento no se ha resaltado la potencialidad de estos combustibles, los residuos de los animales de granja se han utilizado para producir energía en forma de biogás y son generados a partir de procesos biotecnológico básico de la fermentación anaerobia; sin embargo las condiciones con las cuales se producen distan de ser un combustible de alto poder calorífico.

“El contenido total de nutrimentos en los estiércoles es muy variable y depende de la especie que lo produce, la edad del animal, su eficiencia digestiva y el tipo de alimentación que recibe” (Salazar et al., 2010). Por otra parte aunque existen recomendaciones nutricionales de organismos particulares y oficiales sobre el balance de las cantidades de los componentes de la dieta alimenticia para una misma raza de ganado, los ganaderos de cada región recurren a regímenes alimenticios de carácter empírico muy variado y desbalanceado, que dan como resultado una gama muy amplia de excretas.

Además, la utilización de las excretas de los animales domésticos (bovinos y cerdos), se utiliza para obtener biogás por procesos fermentativos desarrollados por microorganismos, estas actividades contribuyen a la disminución de la producción de gases con efecto invernadero. Sin embargo, los efluentes de la biomasa en muchas ocasiones no se terminan de descomponer, en consecuencia no son aptos para su incorporación a los suelos o para descargas en cuerpos de agua, representando un riesgo para el medio ambiente o incluso para la salud de los seres humanos.

La aplicación de procesos biotecnológicos para obtener energía, exige conocer diferentes aspectos con el fin de hacer más eficiente y optimizar la producción de los biocombustibles, como ejemplos:

1.- Las características de la biomasa para obtener productos útiles a través de la acción de los microorganismos. Para facilitar la acción de los microorganismos, la biomasa debe contener un porcentaje adecuado de humedad, además del tamaño de las partículas orgánicas sometidas a tratamiento (Magaña et al., 2006).

2.- Los microorganismos que intervienen en las diferentes fases de la fermentación de la biomasa y de las condiciones idóneas para realizar los procesos fermentativos en forma eficiente. Considerando que existen procesos aeróbicos y anaeróbicos que favorecen el desarrollo de determinados microorganismos en las diferentes etapas de descomposición.

3.- La secuencia de las reacciones bioquímicas en la transformación de la biomasa, con objeto de favorecer la producción de productos útiles y

evitar la formación de compuestos no deseados.

En la fermentación anaeróbica se efectúa en un biodigestor; en el cual la materia orgánica se descompone sin oxígeno atmosférico para dar como producto de la reacción agua, dióxido de carbono y metano (Hiler et al., 1985). Aunque la variación en la composición del biogás varía depende de la composición de la biomasa utilizada, por ejemplo su composición aproximada reportada en la literatura, se muestra en la tabla 1. El metano es el constituyente más importante del biogás, desde el punto de vista económico, ya que le confiere la característica de combustible, el valor energético del biogás está en función de la concentración de metano que tiene un valor energético de 20 MJ/m^3 - 25 MJ/m^3 , en cambio el gas natural proveniente del petróleo tiene un rango de 33 MJ/m^3 - 38 MJ/m^3 .

Tabla 1. Composición química del biogás.

Composición	% total
Metano CH_4	50-70
Dióxido de carbono CO_2	30-40
Hidrogeno H_2	1-10
Nitrógeno N_2	1-6
Sulfuro de hidrogeno H_2S	Trazas

Fuente: Adaptado de Vega y Ramírez (2015).

Dentro del ciclo biológico la fermentación anaeróbica es un proceso natural que sucede en forma espontánea en la naturaleza. Por ello podemos encontrar en aguas estancadas el llamado gas de los pantanos y el gas natural metano de los yacimientos petrolíferos, así como el producido en el tracto digestivo de los

rumiantes como los bovinos. En todos estos procesos las bacterias que intervienen son las metanogénicas.

Lo que caracteriza al biogás es la mezcla conformada por los componentes que se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Componentes del biogás

Características	CH ₄	CO ₂	H ₂ - H ₂ S	Otros	Biogás (60/40)
Proporción (% volumen)	55-70	27-44	1	3	100
Valor calórico (JW/m ³)	35.8	-	10.8	22	21.5
Valor calórico (Kcal/m ³)	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % aire	5-15	-	-	-	6-12
Temp. Ignición en °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica (Mpa)	4.7	7.5	1.2	8.9	7.5-8.9
Densidad (g/L)	0.7	1.9	0.08	-	1.2
Densidad relativa	0.55	2.5	0.07	1.2	0.83
Inflamabilidad Vol. En % aire	5-15	-	-	-	6-12

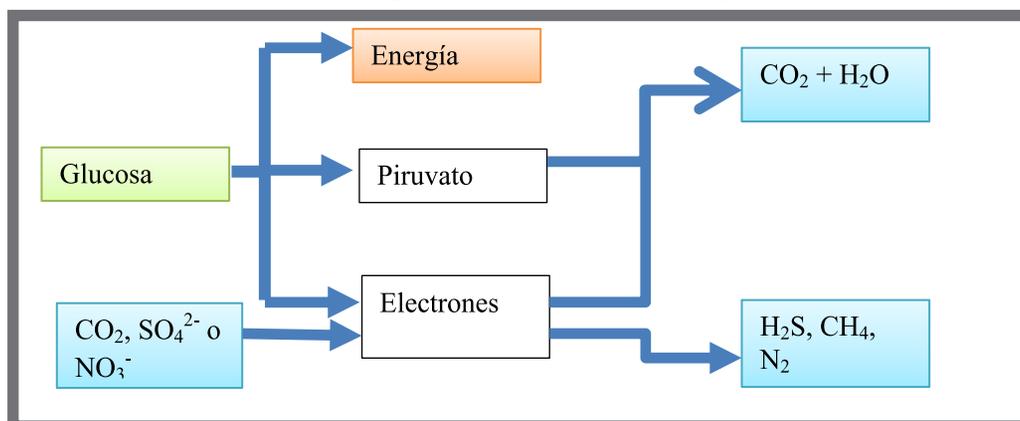
Fuente: Adaptado de Deublein y Steinhauser (2008).

Así pues, la respiración anaerobia es un proceso biológico de óxido-reducción de monosacáridos y otros compuestos en que el acepta de electrones es una molécula inorgánica, para ello intervienen algunos grupos de bacterias a través de una cadena transportadora de electrones análoga a la de las mitocondrias en la respiración aeróbica. En cambio en la fermentación sucede un proceso también anaeróbico, pero en el que no participan la cadena de transportadora de electrones y el

aceptor final de electrones es regularmente una molécula orgánica.

En consecuencia la respiración anaeróbica utiliza aceptores de electrones externos para recibir a los electrones liberados en la degradación de la materia orgánica (Figura 1). Regularmente los aceptores de electrones son CO₂, SO₄²⁻ o NO₃⁻, liberando mucha mayor energía que la que se produce en la fermentación anaeróbica.

Figura 1. Respiración anaeróbica de la glucosa.



Fuente: Mandujano y Martínez (1981).

En el momento en que el CO_2 recibe los electrones liberados por la materia orgánica, se transforma a gas metano (CH_4), en consecuencia la producción de gas metano mediante este proceso se le llama metalogénesis hidrogenotróficas y es responsable de un tercio de la generación de metano. Además los microorganismos anaeróbicos también requieren el CO_2 como aceptor de electrones y reducen el hidrogeno a ácido acético. Igualmente los sulfatos en un ambiente anaeróbico parte de la materia orgánica sucede la reacción de reducción por medio de un grupo de bacterias anaeróbicas conocidas como bacterias reductoras de sulfatos, para liberar el sulfuro de hidrogeno (H_2S) y posteriormente el nitrato actúa como aceptor de electrones para reducirlo a nitrógeno (Mandujano y Martínez 1981).

Materiales y métodos

Los residuos orgánicos provenientes de vegetales y excremento de animales son los requeridos para la fermentación anaerobia (ausencia de oxígeno atmosférico), ya que a través de las etapas de biodigestión se reducen a sus componentes básicos CH_4 y CO_2 . En el proceso de metanogénicas las bacterias van consumiendo el carbono y el nitrógeno convierten el acetato a metano y CO_2 , o reducen el CO_2 a metano. “Estas transformaciones involucran dos grupos metanogénicos que son los encargados de llevar a cabo las transformaciones

mencionadas anteriormente: acetotróficas e hidrogenotróficas”. (Rodríguez, 2005).

Para la experimentación en el laboratorio con matraces se procedió considerando lo siguiente:

Se recolectaron muestras de excretas de ganado porcino y vacuno, seleccionando las más recientes y frescas, la recolección se realizó en una granja ubicada en el municipio de Magdalena Jalisco. El excremento de cada especie fueron mezcladas y homogenizadas: para cada experimento se recolectaban dos porciones de estiércol; uno para llevarlo a la temperatura ambiente ($22\text{ }^\circ\text{C}$) y el otro a una temperatura controlada por medio de una resistencia a $34\text{ }^\circ\text{C}$, de esa manera se obtuvo la materia prima para las 8 muestras.

Posteriormente se determinó los sólidos totales, para ello se introdujeron 4 crisoles en una estufa a una temperatura de $100\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, con la finalidad de eliminar la humedad contenida en los crisoles, a continuación introducirlo en el desecador para enfriarlo y pasarlo a la balanza analítica hasta peso constante. Posteriormente se incorporan las excretas en los crisoles y se llevaron al horno a una temperatura de $100\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 horas, al término de los cuales se pesaron obteniendo los resultados que muestra la tabla 3.

Tabla 3. Pesos de las muestras de excretas de ganado porcino y vacuno en relación con el % de humedad.

Muestra	1 Porcino	2 Porcino	1 Bovino	2 Bovino
Crisol	101.5954 g	38.4325 g	102.4086 g	39.5607 g
Muestra	9.9736 g	10.0326 g	9.9634 g	9.9606 g
Crisol + muestra	111.5690 g	48.4651 g	112.3720 g	49.5213 g
Temperatura	100°C	100°C	100°C	100°C
Tiempo	24 Horas	24 Horas	24 Horas	24 Horas
Peso final	105.4433 g	42.2240 g	104.1623 g	41.2922 g
Muestra final	3.8479 g	3.7915 g	1.7537 g	1.7315 g
% Humedad	61.41%	62.2%	82.39%	82.61%

Fuente: Propia.

El porcentaje de humedad se determinó aplicando la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \left[\frac{\text{Peso de la muestra fresca} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra fresca}} \right] \times 100$$

Así, las 4 muestras se determinaron el % de humedad como se observa en la tabla 3.

El pH influye en el proceso anaeróbico al encontrarse fuera de rango optimo, los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a la variación del pH, comparados con los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. El nivel óptimo para los diferentes grupos bacterianos que se encuentran en el proceso de digestión anaeróbica, es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para

metanogénicos. En cambio el pH para cultivos mixtos está dentro del rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal (Magaña et al., 2006).

Para que un proceso se lleve a cabo normalmente, el pH no debe de bajar de 6.0 ni subir de 8.0. Además el pH en el proceso de digestión no solo contribuye a la producción de biogás sino también a su composición (Varnero y Arellano, 1991). Una de las causas de que se tengan un descenso del pH a valores de 6.0 es que el biogás producido es muy pobre en metano. Razón por la cual, la metalogénesis es considerada la etapa limitante del proceso, por consecuencia es necesario mantener el pH del biodigestor cerca de la neutralidad, en cambio los acidogénicos se consideran menos sensibles a valores extremos de pH.

Para la determinación del pH se realizó mediante una dilución de 1:2.5 de excreta y agua destilada utilizando un potenciómetro marca

OrionStarThermoScientific como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Peso de las muestras frescas y el pH

Muestra	Muestra fresca	Agua destilada	pH Inicial
1 Porcino	120 g	300 mL	7.69
2 Porcino	120 g	300 mL	7.66
3 Porcino	120 g	300 mL	7.7
4 Porcino	120 g	300 mL	7.87

Muestra	Muestra fresca	Agua destilada	pH Inicial
1 Bovino	120 g	300mL	7.61
2 Bovino	120 g	300mL	7.7
3 Bovino	120 g	300mL	7.65
4 Bovino	120 g	300mL	7.72

Fuente: Propia.

En los proceso anaeróbicos, al igual que otras variables la temperatura juego un papel importante, ya que la velocidad de las reacciones de los procesos biológicos es dependiente de la velocidad de crecimiento de la flora microbiana, es decir que la temperatura es directamente proporcional al aumento de la velocidad de crecimiento de los microorganismos y a la vez favorece el proceso de biodigestión, para dar lugar a mayor producción de biogás.

Los cambios bruscos de temperatura en el digestor pueden retardar la producción de biogás, por ello se implementaron dos experimentos; uno a la

temperatura ambiente que en promedio fue de 22 °C y la otra a una temperatura de 34 °C controlada por un termostato. En los dos casos se garantizó la agitación, con respecto a la medición de la temperatura se determinó por medio de termómetro digital de infrarrojo Cole Palmer.

Al considerar que se tienen tres rangos de temperatura en la cual pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos como se muestra en la tabla 5. Que para esta investigación está dentro del mínimo y óptimo de la bacterias mesophilicas.

Tabla 5. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.

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

Fuente: Lagrange, 1979.

Al Considerar el porcentaje de sólidos totales en la dilución de las muestras de excretas para la experimentación como se especifica en la tabla 6. Se partió del porcentaje de humedad determinado en la tabla 3 y el pH promedio para ganado porcino de 7.73 y para ganado bovino de 7.67 como se expone en la tabla 4.

Con base a estos resultados, se determinó la concentración de los matraces utilizados a

temperatura ambiente (22°C), tanto para porcino como bovino. De igual manera se procedió para el experimento a la temperatura de 34°C, como se observa en la tabla 6. Para ello se realizó la disolución de la muestras para obtener una concentración óptima del 10% de sólidos totales. Dando una relación de 1:2.5 para obtener una concentración del 9.5 % de sólidos totales de carga diluidos para ganado porcino y bovino a las dos temperaturas.

Tabla 6. Peso de las muestras frescas inicial y % de solidos totales (S.T.).

Muestra	Muestra fresca	Agua destilada	% S.T .excretas frescas	% S.T. de carga diluida
1 Porcino	120 g	300 mL	38.59	9.50
2 Porcino	120 g	300 mL	37.8	9.45

Muestra	Muestra fresca	Agua destilada	% S.T .excretas frescas	% S.T. de carga diluida
1 Bovino	120 g	103mL	17.61	9.50
2 Bovino	120 g	103mL	17.61	9.50

Fuente: Propia

Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio.

Para la determinación del % sólidos totales (S.T.) de la carga diluida se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ S.T. (carga diluida)} = \frac{(1 \text{ Kg excreta}) (\% \text{ S.T. excreta fresca})}{1 \text{ Kg excreta fresca} + \text{agua agregada}}$$

Después de realizar las diluciones en cada uno de los 8 matraces kitazato de cristal (Figura2) con capacidad de 500 mL como depósito de la mezcla agua-excretas, actuando como un biodigestor discontinuo. 4 matraces kitazato se incorporaron dentro de una tina conteniendo agua calentada por una resistencia a fin de mantener la temperatura a

34 °C y los otros 4 matraces se dejaron a la intemperie a una temperatura promedio de 22 °C.(Figura3).

Para la determinación de sólidos volátiles en la muestras iniciales se pesó 1 gramos de cada excreta y se pasó a un crisol de porcelana previamente llevado a peso constante, posteriormente se llevaron a la mufla a una temperatura de 550 °C durante 24 horas, para volatilizar los sólidos orgánicos los que teóricamente deben ser convertidos a biogás como se muestra en las tablas 7.

Tabla 7. Peso de la muestra fresca inicial y % de sólidos volátiles (S.V.).

Muestra	1 Porcino	2 Porcino	1 Bovino	2 Bovino
Crisol	26.9862 g	27.5560 g	27.1869 g	28.3818 g
Muestra	0.9550 g	0.9834 g	0.9997 g	0.9930 g
Crisol + muestra	27.9412 g	28.5394 g	28.1866 g	29.3748 g
Temperatura	550°C	550°C	550°C	550°C
Tiempo	24 Horas	24 Horas	24 Horas	24 Horas
Peso final	27.1045 g	27.6796 g	27.2226 g	28.4130 g
Muestra final	0.1183 gr	0.1236 gr	0.0312 gr	0.0357 gr
% Sólidos volátiles	87.6125 %	87.4313 %	96.879 %	96.4048 %

Fuente: Propia

De acuerdo a la bibliografía las diluciones más adecuadas en relación a los sólidos totales, % humedad, pH y relación carbono/nitrógeno, para ganado bovino 25:1 y porcino 16:1 (Varnero y Arellano, 1991) fue de una parte de excretas por 2.5 de agua destilada. El volumen del biogás producido tanto de los biodigestores a temperatura de 34 °C como a la temperatura de 22 °C, fue recolectado en una tina de agua con probetas graduadas invertidas para recolectar el gas por desplazamiento del agua.

Figura2: Sistema de experimentación con matraces a 34 °C de excretas.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

Figura3: Sistema de experimentación con matraces a temperatura ambiente (22 °C).

Resultados y discusiones

Con respecto a los objetivos planteados, ha sido factible obtener el biogás utilizando excretas de ganado porcino y bovino a temperatura controlada de 34 °C y temperatura ambiente (22 °C) respectivamente, así como determinar la producción diaria de biogás a nivel de laboratorio utilizando matraces kitazato como biodigestores discontinuos y comparar la producción de biogás tanto para el ganado porcino como el bovino a las dos temperaturas experimentadas. El proceso de biodigestión anaerobia se llevó a cabo mediante un control adecuado de las variables involucradas.

En la tabla 8 y en las gráfico 1, se muestran los resultados obtenidos en la experimentación para la excreta de ganado porcino y bovino a la temperatura ambiente, además se observa que la generación de biogás es mayor la de ganado porcino que la del ganado bovino.

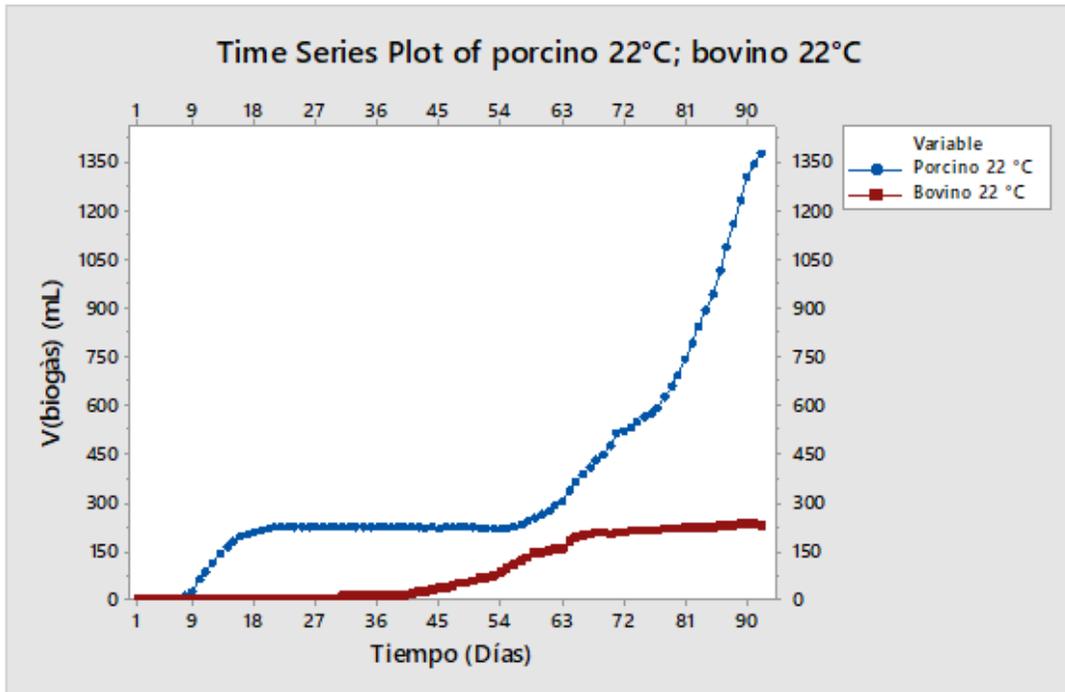
Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio.

Tabla 8. Producción promedio de biogás de excretas de ganado porcino y bovino a la temperatura de 22 °C.

Días de generación	Porcino 22°C mL	Bovino 22°C mL	Días de generación	Porcino 22 °C mL	Bovino 22°C mL
1	0	0	47	222,5	40
2	0	0	48	222,5	47,5
3	0	0	49	222,5	50
4	0	0	50	222,5	55
5	0	0	51	220	65
6	0	0	52	220	67,5
7	0	0	53	220	75
8	12,5	0	54	220	82,5
9	25	0	55	220	92,5
10	60	0	56	222,5	105
11	82,5	0	57	230	115
12	112,5	0	58	240	129
13	140	0	59	250	142,5
14	160	0	60	262,5	145,5
15	177,5	0	61	275	150
16	197,5	0	62	287,5	154,5
17	202,5	0	63	300	157,5
18	205	0	64	335	177,5
19	212,5	0	65	360	187,5
20	217,5	0	66	386	197,5
21	225	0	67	406,5	200
22	225	0	68	427	205
23	225	0	69	447,5	205
24	225	0	70	473,5	200
25	225	0	71	510	206,5
26	225	0	72	520	207,5
27	225	0	73	530	212,5
28	222,5	0	74	545,5	212,5
29	222,5	0	75	561	212,5
30	222,5	0	76	576,5	212,5
31	222,5	12,5	77	591,5	212,5
32	222,5	12,5	78	624,5	215
33	222,5	12,5	79	658	219
34	222,5	12,5	80	691	220
35	222,5	12,5	81	741,5	221
36	222,5	12,5	82	792	222
37	222,5	12,5	83	842,5	223
38	222,5	12,5	84	893	224
39	222,5	12,5	85	943,5	225
40	222,5	12,5	86	1015,5	227
41	222,5	17,5	87	1087,5	229
42	222,5	22,5	88	1159,5	231
43	220	25	89	1231,5	233
44	222,5	30	90	1303,5	235
45	220	32,5	91	1340,5	232,5
46	222,5	35	92	1377	231

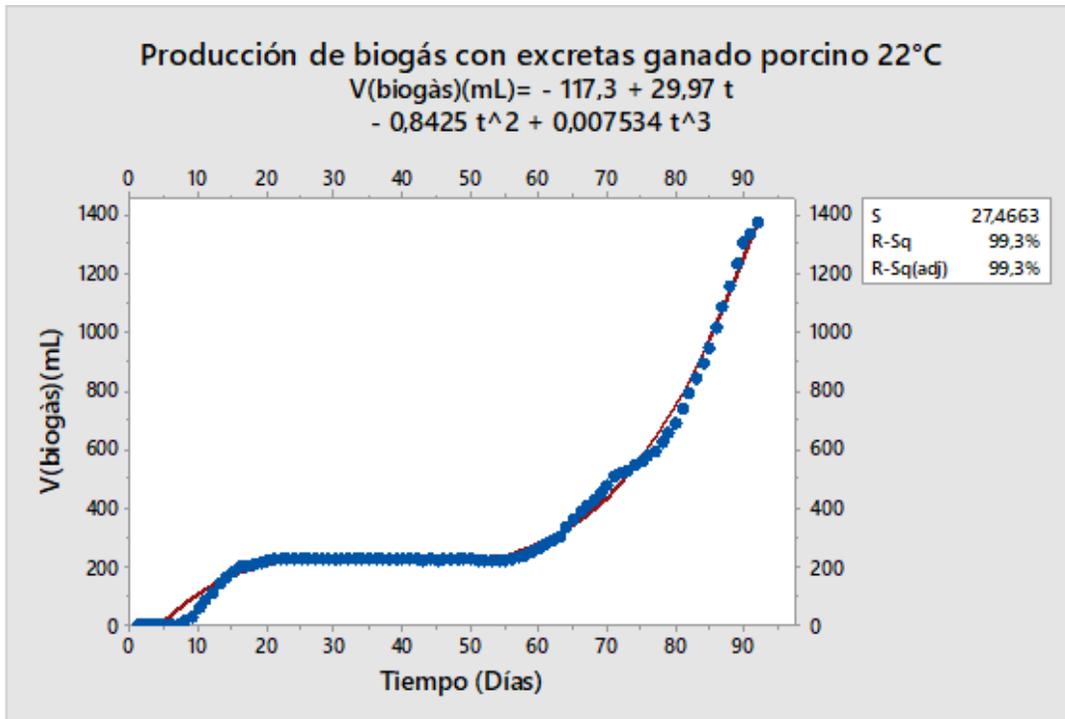
Fuente: Propia

Gráfico 1. Producción de biogás de excretas de ganado porcino y bovino a temperatura ambiente.



Fuente: Propia

Gráfico 2. Producción de biogás de excretas de ganado porcino vs tiempo de retención a temperatura ambiente.



Fuente: Propia

Los resultados de la experimentación de las excretas de ganado porcino siguen un comportamiento de una ecuación de correlación

cubica como se muestra a continuación (gráficos 2,3):

$$V_{biogàs} = -117.3 + 29.97 t - 0.8425t^2 + 0.007534t^3 \dots\dots\dots(1) \text{ Porcino}$$

$$V_{Biogàs} = 37.66 - 6.470 t + 0.2099t^2 - 0.001254t^3 \dots\dots\dots(2) \text{ Bovino}$$

Dónde:

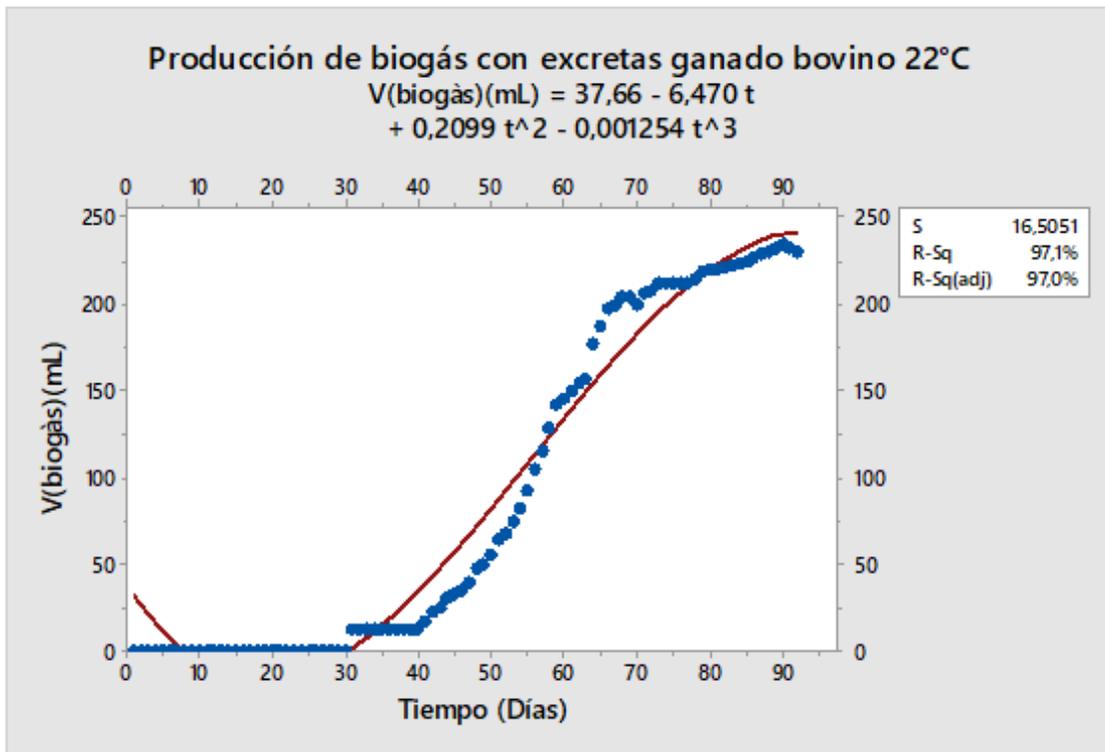
V = Volumen del biogás producido en mL.

t = tiempo en días

porcino nos genera una producción de biogás de 215 mL y para el ganado bovino a las mismas condiciones de temperatura nos resulta de 34 mL de biogás producido. Suceso que demuestra nuevamente que de las excretas de ganado porcino nos produce en mayor cantidad de biogás.

por ejemplo en un tiempo de 40 días y sustituir la es dos ecuaciones (1 y 2), resulta que para ganado

Gráfico 3. Producción de biogás de excretas de ganado bovino vs tiempo de retención a temperatura ambiente



Fuente: Propia

Comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás a partir de excretas de ganado porcino y bovino en el laboratorio.

En la tabla 9 y en las gráfico 4, se muestran los resultados obtenidos en la experimentación para la excreta de ganado porcino y bovino a la

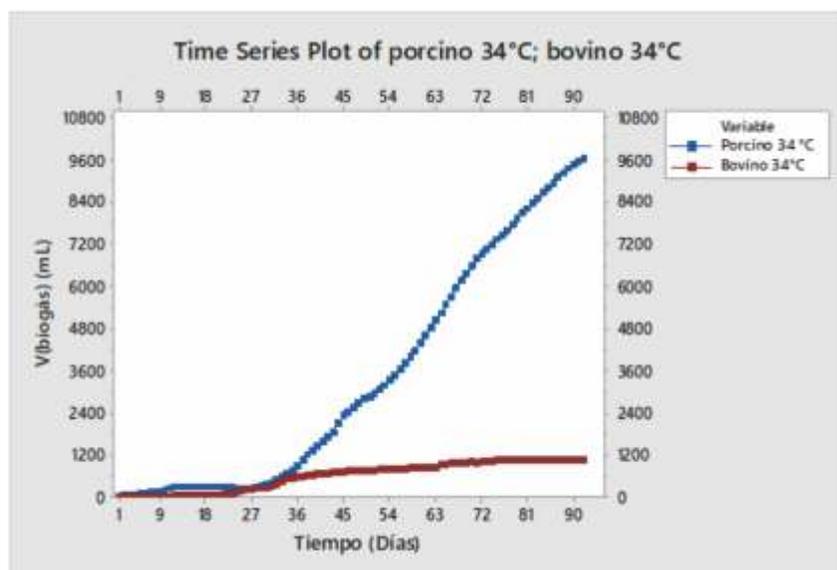
temperatura controlada de 34 °C, además se observa que la generación de biogás es mayor la de ganado porcino que la del ganado bovino.

Tabla 9. Producción promedio de biogás de excretas de ganado porcino y bovino a la temperatura de 34 °C.

Días de generación	Porcino 34°C	Bovino 34°C	Días de generación	Porcino 34°C	Bovino 34°C
	mL	mL		mL	mL
1	20	0	47	2565	744
2	28	0	48	2678,5	750
3	42	0	49	2790,5	757,5
4	55,5	0	50	2870,5	765
5	67	0	51	2950	773
6	76	3	52	3077,5	779,5
7	142,5	6	53	3208	786
8	150	6	54	3344	793,5
9	172,5	6	55	3477,5	802
10	230	9	56	3632,5	807
11	252,5	20	57	3797,5	814,5
12	275	31	58	3985	822
13	295	42	59	4172,5	829,5
14	302,5	51	60	4385	835,5
15	307,5	55	61	4597,5	840,5
16	302,5	58	62	4810	846,5
17	302,5	58	63	5022,5	852
18	300	58	64	5247,5	912
19	297,5	57	65	5482,5	942
20	292,5	57	66	5717,5	962
21	287,5	58	67	5944	968,5
22	277,5	72,5	68	6170	975
23	275	98,5	69	6397,5	982
24	270	134,5	70	6590	988
25	272,5	163,5	71	6782,5	984,5
26	272,5	197	72	6937,5	1003
27	272,5	221	73	7060	1016
28	282,5	233	74	7192	1021
29	332,5	244	75	7324	1028
30	380	258	76	7456	1034,5
31	425	284	77	7588,5	1042
32	505,5	373	78	7752,5	1043,5
33	586,5	457	79	7917	1045,5
34	667,5	549	80	8081	1047
35	775,5	565,5	81	8229	1047
36	883,5	583	82	8377	1047
37	1056	607	83	8525	1047
38	1213,5	621	84	8673	1047
39	1343	638	85	8821	1047
40	1472,5	655	86	8954,5	1049
41	1602	671,5	87	9088	1051,5
42	1731,5	685	88	9221,5	1053,5
43	1861	702	89	9355	1056
44	2110	717	90	9488,5	1058
45	2338	732	91	9560,5	1056
46	2451,5	738	92	9632,5	1054,5

Fuente: Propia

Gráfico 4. Producción de biogás de excretas de ganado bovino vs tiempo de retención a temperatura controlada con resistencia eléctrica de 34 °C.

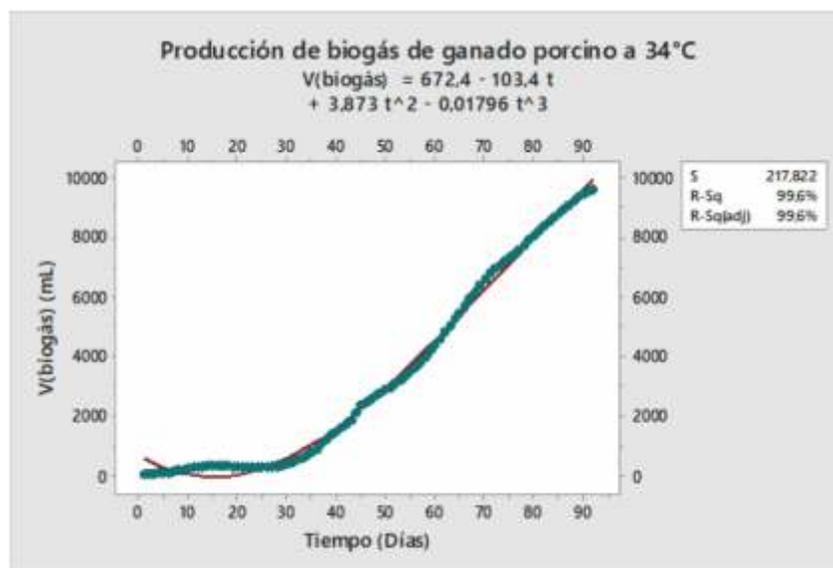


Fuente: Propia

Para el caso de las muestras de excretas de ganado porcino y bovino a la temperatura controlada (34 °C) por una resistencia eléctrica, la producción de biogás se puede observar en la figura 4 y al igual

que el experimento anterior la generación de biogás del ganado porcino es mayor que la del ganado bovino.

Gráfico 5. Producción de biogás de excretas de ganado porcino vs tiempo de retención a la temperatura de 34 °C.



Fuente: Propia

Los resultados de la experimentación de las excretas de ganado porcino siguen un comportamiento de una ecuación de correlación

cubica como se muestra a continuación (gráficos 5,6):

$$V_{biogás} = 672.4 - 103.4t + 3.873t^2 - 0.01796t^3 \dots\dots\dots(3) \text{ Porcino}$$

$$V_{Biogás} = -75.13 + 5.277t + 0.3945t^2 - 0.003538t^3 \dots\dots\dots(4) \text{ Bovino}$$

Dónde:

V = Volumen del biogás producido en mL.

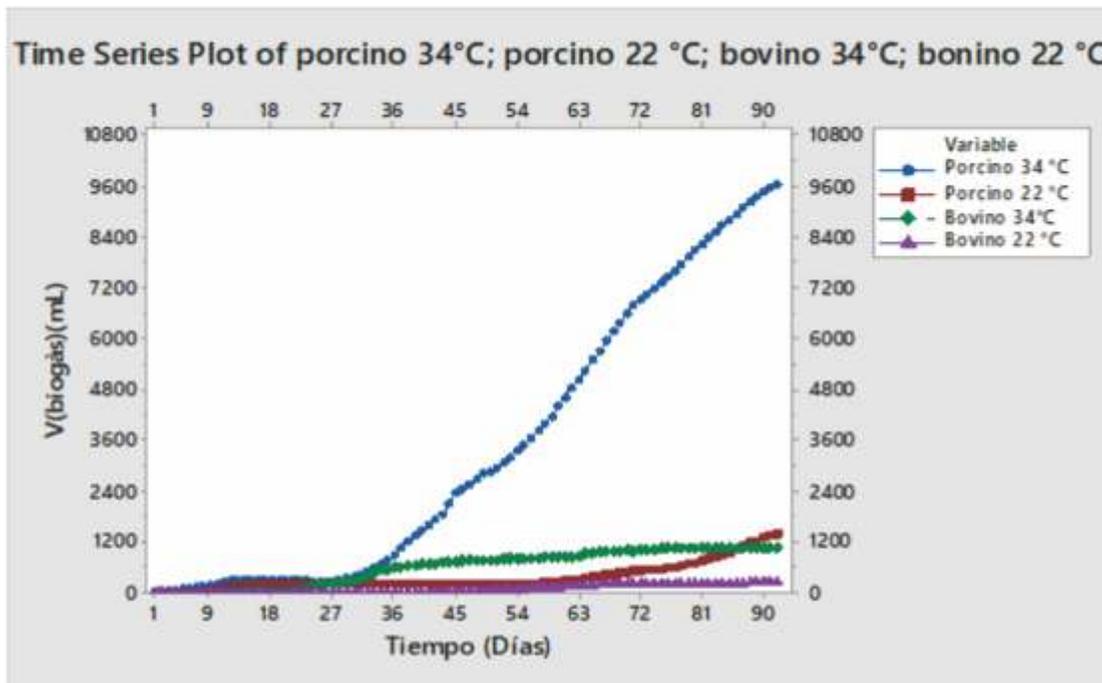
t = tiempo en días

por ejemplo en un tiempo de 40 días y sustituir la es dos ecuaciones (3 y 4), resulta que para ganado porcino nos genera una producción de biogás de 1587mL y para el ganado bovino a las mismas condiciones de temperatura nos resulta de 540mL de biogás producido. Suceso que demuestra

nuevamente que de las excretas de ganado porcino nos produce en mayor cantidad de biogás.

Se observa también que a mayor temperatura tanto para ganado porcino como bovino tiende a aumentar la producción de biogás y de igual manera es mayor la generación de biogás para las excretas de ganado porcino, como se observa en la gráfica 6.

Gráfico 6. Producción de biogás de excretas de ganado porcino y bovino vs tiempo de retención a la temperatura de 34 °C y 22 °C.

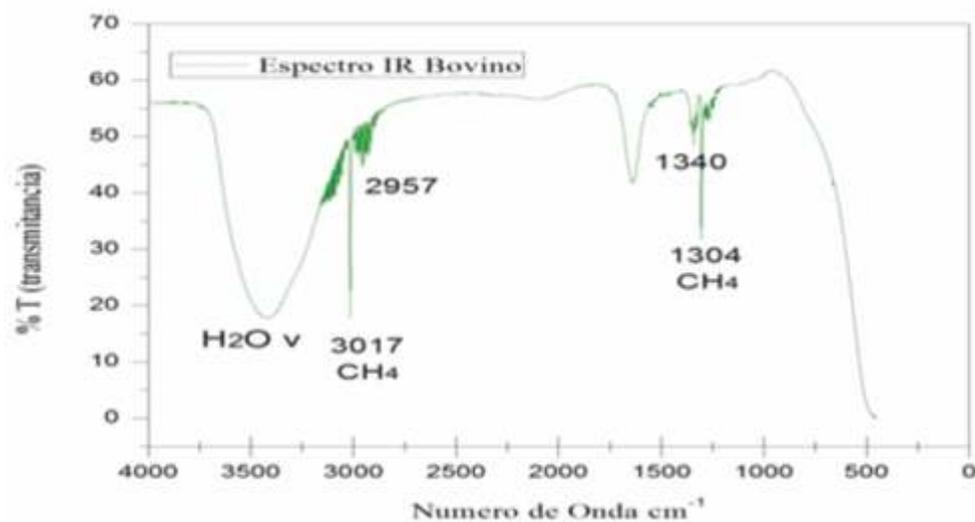


Fuente: Propia

La identificación de los componentes del biogás generado en los experimentos, se llevó a cabo a través de espectroscopio infrarrojo al considerar

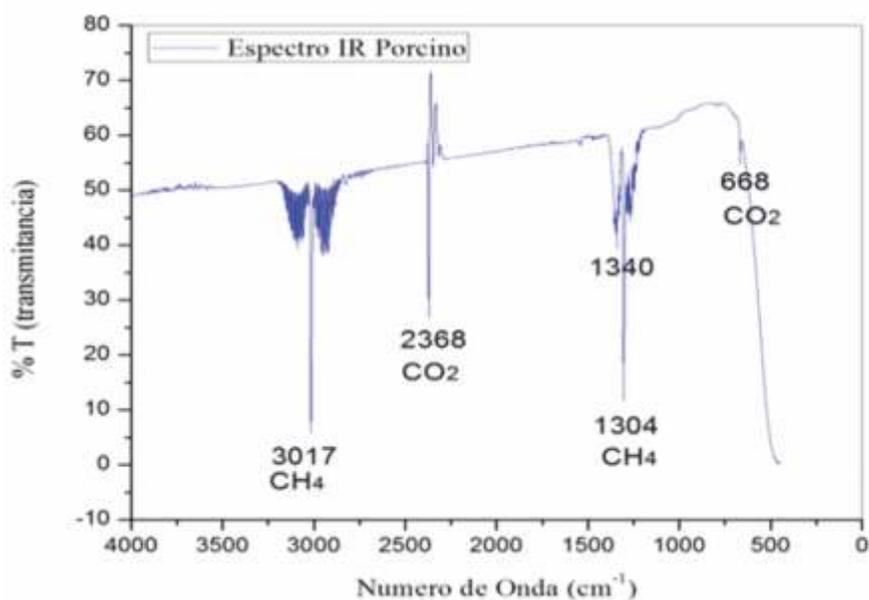
los picos característicos y su respectiva longitud de onda para identificar la presencia de CH_4 y CO_2 como lo muestran los gráficos (7 y 8).

Gráfico 7. Espectro IR característico del CH_4 y CO_2 en el biogás de excretas de ganado bovino.



Fuente: Propia

Gráfico 8. Espectro IR característico del CH_4 y CO_2 en el biogás de excretas de ganado porcino.



Fuente: Propia

De acuerdo con el análisis de las muestras de biogás medido con el MiniRAE 2000, la cantidad de metano que se tiene en el día 92, de las excretas de ganado porcino y bovino a las temperaturas de

34°C y 22 °C, se observa (Tabla 10) que las excretas de ganado porcino para las dos temperaturas es mayor en partes por millón que la del ganado bovino.

Tabla 10. Medición de la cantidad de metano al término de los 92 días de producción de biogás en los biodigestores.

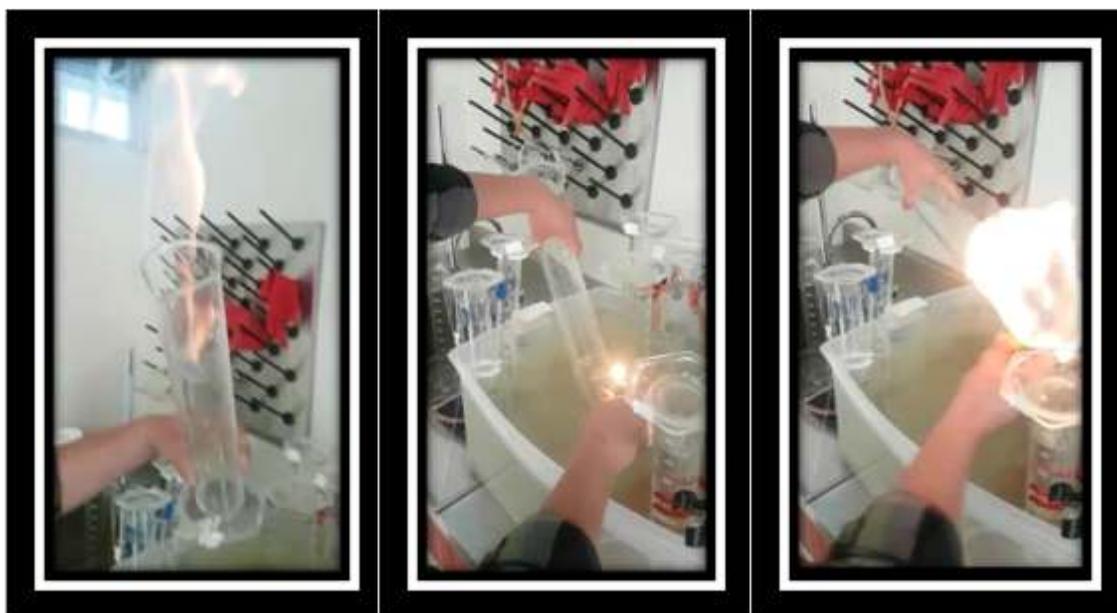
Experimento	ppm (CH ₄)	Día de producción de biogás
Excreta de ganado porcino a 34 °C	13.4	92
Excreta de ganado bovino 34 °C	11.4	92
Excreta de ganado porcino 22 °C	12.2	92
Excreta de ganado bovino 22 °C	5.50	92

Fuente: Propia

Se pudo comprobar que el gas generado en los biodigestores del laboratorio es un gasinflamable y con olor característica de la mezcla del biogás, como se muestra en la figura 4, donde se realizó la

prueba a la llama para la identificación del metano como único gasinflamable producto de la fase metanogénica de la digestión anaeróbica de la excretas de ganado porcino y bovino.

Figura 4: Prueba de la llama para identificación de metano en el biogás.



Fuente: Propia

Conclusiones

En base a las experimentaciones realizadas y los modelos matemáticos determinados en 40 días, se ha demostrado que las excretas de ganado porcino producen tres veces más de biogás que las excretas de ganado bovino como lo demuestra la investigación.

Al comparar los experimentos de fermentación anaeróbica realizados a temperatura ambiente (22 °C) dentro del rango máximo de las bacterias Psycrophilicay a la temperatura controlada de 34°C dentro del rango óptimo Mesophilica, la

producción de biogás es mayor, tanto para ganado porcino como bovino a sus respectivas temperatura de operación.

La producción de metano en las excretas de ganado bovino a la temperatura ambiente de 22 °C son dos veces menor en partes por millón, que las producidas a la temperatura controlada de 34 °C, en el rango óptimo donde interceden las bacterias Mesophilicas.

Referencias Bibliográficas

- Deublein D. y Steinhauser A. (2008). Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim. 443 p.
- Hiler Edward A., Stout Bill A. (1985). Biomass Energy. A Monograph. Texas A&M University Press. College Station.
- Magaña R. J. L.; Torres R. E.; Martínez G. M. T.; Sandoval J. C.; Hernández C. R. (2006). Producción de Biogás a Nivel Laboratorio Utilizando Estiércol de Cabras. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México.
- Mandujano, M. I., Félix, a. y Martínez, A.M. (1981). Biogás, Energía y fertilizante a partir de desechos orgánicos. OLDE, Serie de publicaciones especiales N6, México. 41 pp.
- Montalvo, S y Guerrero, L. (2003). Tratamiento anaerobio de residuos. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, pp.1-413.
- Lagrange, B. (1979). Biomethane. Principes, techniques, utilisation. Vol.2. Edisual / Energies Alternatives. 249 p.
- Rivas, O. y M. Faith & Guillén, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Tecnología en Marcha. 23(1), 39-46.
- Salazar, E., Trejo, H., López, J., Vázquez, C., Serrano, S., Orona, I. y Flores, J. (2010). Efecto residual de estiércol bovino sobre rendimiento de maíz forrajero y propiedades del suelo. Revista: Terra Latinoamericana Volumen 20 número 4.
- Soria, M. J., Ferrera-Cerrato, RyEtchevers, J.; Alcántar, G.; Trinidad, J.; Borges, L. & Pereyda, G. (2001). Producción de Biofertilizantes Mediante Biodigestión de Excreta Líquida de Cerdo. Terra. 19(4), 354-361.
- Varnero, M.T. y Arellano, J. (1990). Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile, 98p.
- Vega, J. y Ramírez, S. (2014). Fuentes de energía, renovables y no renovables aplicaciones. 1era. Edición. Editorial Alfa omega. México.
- REMBIO. (2011). La bioenergía en México. Situación actual y perspectivas. Cuaderno temático No 4. Edición red Mexicana de bioenergía A.C. Consultado en el mes de Enero 2017, en: <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>

Rodríguez, J. A. (2005). Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Profesora asociada de la Universidad el Valle. Calí. Colombia. Consultados en noviembre 2016. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/tratamiento.pdf>

Valle, J. y Ortega, H. (2012). Prospectiva de energías renovables 2012-2026. Secretaria de energía. México. Consultada para este trabajo de investigación en: Enero 2017, de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2012-2026.pdf.