

## Estudio de la producción de biogás a escala de jeringas Study of the biogás production to scale of syringes

Carlos M. Martínez Hernández<sup>1</sup>; Stefan Böttinger<sup>2</sup>; Hans Oechsner<sup>2</sup>; Norbert Kanswohl<sup>3</sup>; Mathias Schlegel<sup>3</sup>; Elvert Iglesias Hernández<sup>1</sup>; Yoel Pérez Palomino<sup>1</sup> y Yaser García Roque<sup>1</sup>

1. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. E-mail: [carlosmh@uvlc.edu.cu](mailto:carlosmh@uvlc.edu.cu)

2. Universidad de Hohenheim

3. Universidad de Rostock.

---

**RESUMEN.** El trabajo aborda el estudio de la producción de biogás a escala de jeringas utilizando la codigestión de excretas vacunas, porcinas y ovinas con diferentes biomásas de origen vegetal tales como: girasol, sorgo, maíz, yuca, papa y cáscara de malanga. El mismo fue desarrollado en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central de Las Villas. Mediante este trabajo, se muestra la metodología aplicada y una valoración parcial, cuantitativa y cualitativa de algunos de las variantes experimentales investigadas, lo cual constituye una fuente de información importante a la hora de abordar estudios semejantes en otros centros de investigación. El objetivo principal fue mostrar esta metodología y su posible aplicación para el estudio a pequeña escala (jeringas) de diferentes excretas de origen animal (vacuno, porcino y ovino) en codigestión con biomásas agrícolas utilizadas para la generación de metano. Los objetivos específicos, consistieron en investigar las potencialidades de estas mezclas de excretas de origen animal en codigestión con biomásas de origen agrícola para la producción de biogás y analizar las potencialidades de los efluentes de las variantes en estudio para su utilización como bioabonos orgánicos.

**Palabras clave:** Biogás, biomasa agrícola, estiércol animal, jeringas.

**ABSTRACT.** The work shows the studies from the biogas production to syringes scale using the codigestion of different manure (bovine, pig and ovine) with different agricultural biomasses like sunflower, sorghum, corn, cassava, potato and malanga shell. The experiment was developed in the laboratories of the agricultural of sciences of the Central University of the Villas. It is shown the applied methodology and a partial, quantitative and qualitative valuation of some of the investigated experimental variants, that which constitutes a source of important information when approaching similar studies in other investigation centers. The main objective of the work consists on showing this methodology and its possible application for the study to small scale (syringes) of different animal manure (bovine, pig and sheep) in codigestion with agricultural biomasses used for the methane generation. As specific objectives, the work intends to investigate the potentialities of these mixtures of animal manure in codigestion with agricultural biomasses origin for the biogas production and to analyze the potentialities of the slurries of the variants in study for its use like organic manure.

**Key words:** Biogas, agriculture biomass, animal manure, syringes.

---

### INTRODUCCIÓN

El trabajo se desarrolló en el marco del proyecto territorial CITMA 0312. “Producción pecuaria sostenible utilizando fuentes de energía renovable en pequeñas unidades” de tres años de duración y posterior a una visita de investigación realizada en el año 2007 a los laboratorios de biogás de la Universidad de Hohenheim.

En el laboratorio de Biogás de la Universidad de Hohenheim, se observaron las investigaciones que se estaban desarrollando allí a escala de jeringas.

En un proyecto, liderado por el Dr. Oechsner, se ejecutaba una investigación con jeringas de 100 mL, las cuales eran introducidas en un tambor giratorio con capacidad para 121 variantes experimentales de forma simultánea, y se investigaba la producción y calidad del biogás producido bajo estas condiciones. El tambor giratorio estaba introducido en una atmósfera controlada bajo régimen termofílico, siendo la producción de biogás en cada jeringa monitoreada cada 24 horas.

Con estos antecedentes se procedió a consultar algunos trabajos sobre el tema objeto de

investigación, de los cuales los más representativos son los efectuados por Blümenl, M. *et al.* (1997); Fieves V. *et al.* (2005); Lima O. R., (2007); Oechsner, H. y Brulé, M. (2007) y Van Nevel, C.J. *et al.* (1970).

En todos ellos se muestra la metodología para el trabajo a escala de jeringas, sin embargo, en el caso cubano la misma es poco conocida y utilizada. Por tal motivo, y con el apoyo de un convenio de colaboración con la Universidad de Rostock, el pasado año se realizó una estancia de investigación en Alemania, en la cual se trabajó en el análisis y la valoración de diferentes biomásas agrícolas de origen alemán utilizadas para la producción de metano a pequeña escala (laboratorio). En esta etapa, se trabaja en el análisis de diferentes biomásas de origen cubano en codigestión con excretas vacunas, porcinas y ovinas a escala de jeringas y de biodigestores plásticos de pequeña capacidad (4000 a 5000 mL).

Por todo ello se realizó esta investigación con el objetivo de ideterminar las potencialidades de estas mezclas de excretas de origen animal en codigestión con biomásas de origen agrícola para la producción de biogás y analizar los efluentes de las variantes en estudio para su utilización como bioabonos orgánicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El primer paso consistió en la recolección de las excretas frescas para su posterior preparación, en este sentido se utilizó la estación experimental de Zootecnia de la Universidad Central de Las Villas, en la cual existen los tres tipos de animales seleccionados (vacunos, porcino y ovinos). La recolección de las excretas se realizó en horas tempranas de la mañana (8:00 a.m.). Posterior a la recogida, las mismas fueron trasladadas hacia el laboratorio de Bromatología de la Facultad de ciencias Agropecuarias para la realizaron de los análisis pertinentes y la preparación de las muestras experimentales.

Los análisis de rigor a efectuar en las biomásas objeto de investigación fueron: contenido de materia seca, contenido de humedad, contenido de cenizas, pH, contenido de nitrógeno y contenido de carbono.

Las biomásas de origen vegetal a investigar en esta etapa eran: girasol variedad CIAP-JE-94, sorgo variedad CIAP-49V, sorgo variedad 132-R, yuca, maíz, papa y cáscara de malanga.

Estas biomásas de origen vegetal se mezclaron con las excretas vacunas, porcinas y ovinas en diferentes proporciones en cuatro series de experimentos. Cada serie de experimentos se montó con 6 variantes experimentales. A continuación se presentan las diferentes series montadas.

### SERIE No.1:

- VAR-1. Biomasa formada por excretas vacunas + agua (50 % + 50 %);
- VAR-2. Biomasa formada por excretas porcinas + agua (50 % + 50 %);
- VAR-3. Biomasa formada por excretas ovinas + agua (50 % + 50 %);
- VAR-4. Biomasa formada por excretas vacunas + girasol (50 % + 50 %);
- VAR-5. Biomasa formada por excretas porcinas + sorgo variedad CIAP 49 V (50 % + 50 %);
- VAR-6. Biomasa formada por excretas ovinas + yuca (50 % + 50 %);

### SERIE No.2:

- VAR-1. Biomasa formada por excretas vacunas + girasol (85 % + 15 %);
- VAR-2. Biomasa formada por excretas porcinas + sorgo variedad CIAP 49 V (85 % + 15 %);
- VAR-3. Biomasa formada por excretas ovinas + yuca (85 % + 15 %);
- VAR-4. Biomasa formada por excretas vacunas + girasol (90 % + 10 %);
- VAR-5. Biomasa formada por excretas porcinas + sorgo variedad CIAP 49 V (90 % + 10 %);
- VAR-6. Biomasa formada por excretas ovinas + yuca (90 % + 10 %);

### SERIE No.3:

- VAR-1. Biomasa formada por excretas vacunas + girasol (95 % + 5 %);
- VAR-2. Biomasa formada por excretas porcinas + sorgo variedad 49 V (95 % + 5 %);
- VAR-3. Biomasa formada por excretas ovinas + yuca (95 % + 5 %);
- VAR-4. Biomasa formada por excretas vacunas + sorgo variedad 132-R (95 % + 5 %);
- VAR-5. Biomasa formada por excretas porcinas +

sorgo variedad 132-R (95 % + 5 %);  
VAR-6. Biomasa formada por excretas ovinas +  
sorgo variedad 132-R (95 % + 5 %);

SERIE No.4:

VAR-1. Biomasa formada por excretas vacunas +  
maíz (90 % + 10 %);  
VAR-2. Biomasa formada por excretas porcinas +  
papa (90 % + 10 %);  
VAR-3. Biomasa formada por excretas ovinas +  
cáscara de malanga (90 % + 10 %);  
VAR-4. Biomasa formada por excretas vacunas +  
maíz (95 % + 5 %);  
VAR-5. Biomasa formada por excretas porcinas +  
papa (95 % + 5 %);  
VAR-6. Biomasa formada por excretas ovinas +  
cáscara de malanga (95 % + 5 %).

Todas las biomásas de origen vegetal fueron secadas y molidas mediante un molino VEB Nossener Maschinenbau, 8255 Nossen. Las figuras 1 y 2 muestran detalles del molino utilizado y del tamaño final de partícula obtenido. La duración de la fase de experimentación está enmarcada en un rango de 35 días.



Figura 1. Molino utilizado para la trituración



Figura 2. Detalles del tamaño final de partículas

Las biomásas objeto de evaluación fueron almacenadas en pomos de cristal tapados y mantenidos a temperatura ambiente en la sombra.

### **Preparación de las biomásas a estudiar**

Previo al experimento, se monta un pre-experimento donde se valoran las muestras de biomásas de cada variante a analizar, desde el punto de vista bromatológico. Esto permite determinar sus componentes esenciales, tales como: sólidos totales, humedad, pH y la relación carbono-nitrógeno (C/N). Todo lo anterior es importante para determinar la relación agua-biomasa en las muestras a investigar y las potencialidades de estas biomásas para producir metano.

Se aplica el siguiente protocolo de investigación: En dependencia de la Serie de investigación a estudiar, se selecciona la cantidad de biomasa y de excreta a mezclar. Veamos por ejemplo: la Serie 1, variante 4. En este caso, se toman 18 g de excretas vacunas y se mezclan con 18 g de semillas de girasol molido.

Esta mezcla se homogeniza, removiéndola en el interior de un beaker con una barrilla plástica y añadiéndole 40 mL de agua común. Una vez realizada la mezcla en las proporciones a estudiar, se toman 10 mL de la misma, se introducen en la respectiva jeringa y esta se coloca a la intemperie en condiciones naturales (de campo). Todas las jeringas son selladas en su punta, para evitar el escape de gases por este lugar. No se aplica ningún inóculo, tampoco se someten a agitación alguna posterior a su preparación. Una muestra de estas mezclas se guarda en contenedores plásticos, con el objetivo de monitorear cada siete días la evolución del pH. Este procedimiento es semejante en cada Serie y variante a investigar.

En la figuras 3 y 4 se muestran algunos detalles de las jeringas empleadas. Cada una de ellas tiene una capacidad de 30 mL.

En estos experimentos se monitoreó la producción de biogás en cada jeringa diariamente, la temperatura, el pH de las muestras experimentales y el por ciento de germinación de los efluentes en cada variante experimental una vez transcurrido el periodo de investigación. Para la realización de las

mediciones se cuenta con un pH metro modelo 315i, WTW GmbH de fabricación alemana. Se dispone también de termómetros ambientales y placas Petri para las pruebas de germinación.



Figura 3. Detalle de las jeringas de 30 mL



Figura 4. Jeringas llenas con las diferentes variantes para la producción de Biogas

Las pruebas de germinación tienen el siguiente protocolo investigativo: una vez concluido el tiempo de retención hidráulico en estudio (35 días/jeringas), se toman 10 mL de los efluentes de cada una de las mismas, se agregan 10 mL de agua común con el objeto de diluir los mismos al 50 %. Posteriormente, se colocan 25 granos de frijoles negros de las diferentes variedades en estudio y se añaden los efluentes tratados.

Todo lo anterior se vierte en seis placas Petri. El control consiste en 25 granos de frijoles negros a los cuales se agregan 10 mL de agua destilada. Todo este experimento se mantiene durante 48 horas en la oscuridad. Se tomaron frijoles negros comprados en los mercados locales para su experimentación en las series 1 y 2. Posteriormente, se realizaron investigaciones con dos variedades de frijoles negros obtenidos en la estación experimental agrícola de la

Universidad Central. Las variedades de frijoles negros probadas fueron la BAT-304 (con la serie 3) y la variedad Triunfo-70 (con la serie 4). Pasado el tiempo establecido, se determina el porcentaje de germinación en el control y en los diferentes tratamientos, para conocer cuál de las diferentes combinaciones de biomazas es la óptima para producir metano ( $CH_4$ ); además de caracterizar sus potencialidades en cuanto a su utilización como bioabono.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los diez días de montadas las diferentes variantes experimentales en todas las series de experimentos, la producción de biogás es diferente entre series y entre variantes.

Los peores resultados se alcanzan con la serie 1, en la cual la proporción 50 % de excretas + 50 % de biomazas agrícolas no favorece la codigestión de excretas de origen animal con biomazas agrícolas.

Los mejores resultados se alcanzan con la serie 3 (proporción 95 % de excretas + 5 % de biomazas agrícolas), lo cual brinda una importante información para probar estas variantes en biodigestores plásticos a pequeña escala. (tabla 1)

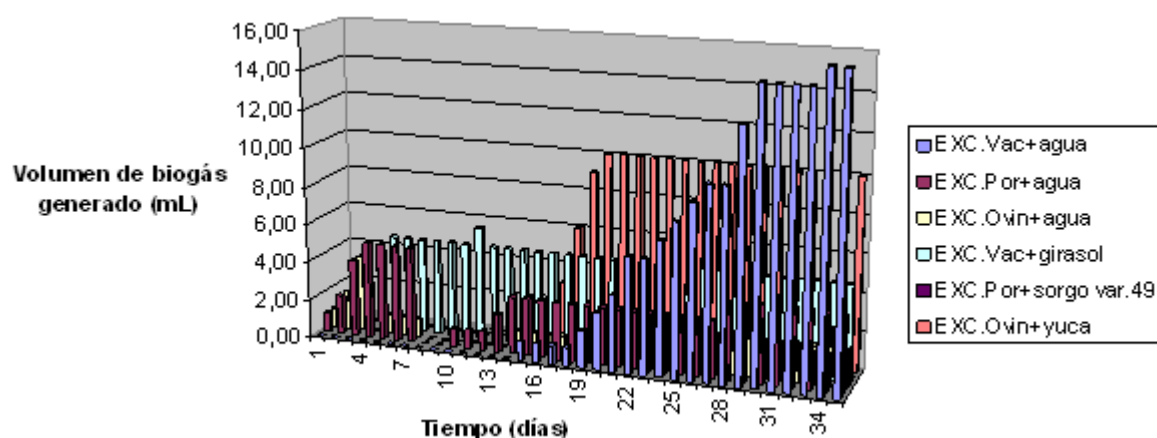
En todas las series evaluadas, al cabo de diez días de montadas las diferentes variantes experimentales, el mínimo valor en la producción de biogás fue de 0 mL, siendo el máximo de 20 mL.

En los primeros quince días, en todas las variantes experimentales, la producción de biogás fue baja. A partir del día diecinueve comenzó el crecimiento destacándose las variantes formadas por excreta ovina + yuca y excreta vacuna + agua, las demás variantes no presentan crecimiento, lo cual significa que se agotan en los primeros quince días y que estas combinaciones no son apropiadas para su experimentación a otra escala. (figura 5)

En la figura 6 se puede observar que la variante compuesta por excreta vacuna + girasol posee el peor comportamiento, siendo a su vez la variante compuesta por excreta ovina + yuca la de mejor comportamiento; por otra parte, el crecimiento en la producción de biogás comienza de forma sostenida en todas las variantes a los cinco días de iniciado el proceso de digestión, excepto en la variante compuesta por excreta vacuna + girasol.

**Tabla 1. Indicadores fundamentales monitoreados en variantes experimentales de producción de biogás a escala de jeringas**

Serie 1.	Día	Hora	Temperatura (°C)	Volumen (mL)
Variante No.	(15 días de montaje el experimento)	p.m.	°C	cm <sup>3</sup>
VAR-1	5.03.2008	2:10	30	0
VAR-2	5.03.2008	2:10	30	1
VAR-3	5.03.2008	2:10	30	0
VAR-4	5.03.2008	2:10	30	5
VAR-5	5.03.2008	2:10	30	0
VAR-6	5.03.2008	2:10	30	0
<b>Serie 2</b>	(15 días de montaje el experimento)	p.m.	°C	cm <sup>3</sup>
VAR-1	16.04.2008	3:30	29	3
VAR-2	16.04.2008	3:30	29	18
VAR-3	16.04.2008	3:30	29	20
VAR-4	16.04.2008	3:30	29	1
VAR-5	16.04.2008	3:30	29	19
VAR-6	16.04.2008	3:30	29	20
<b>Serie 3</b>	(15 días de montaje el experimento)	p.m.	°C	cm <sup>3</sup>
VAR-1	23.05.2008	1:00	36	3
VAR-2	23.05.2008	1:00	36	20
VAR-3	23.05.2008	1:00	36	17
VAR-4	23.05.2008	1:00	36	14
VAR-5	23.05.2008	1:00	36	20
VAR-6	23.05.2008	1:00	36	17
<b>Serie 4</b>	(15 días de montaje el experimento)	p.m.	°C	cm <sup>3</sup>
VAR-1	4.07.2008	1:40	36	1
VAR-2	4.07.2008	1:40	36	15
VAR-3	4.07.2008	1:40	36	6
VAR-4	4.07.2008	1:40	36	8
VAR-5	4.07.2008	1:40	36	20
VAR-6	4.07.2008	1:40	36	8



**Figura 5. Producción de biogás en función del tiempo de digestión anaerobia por variante analizada. SERIE 1**

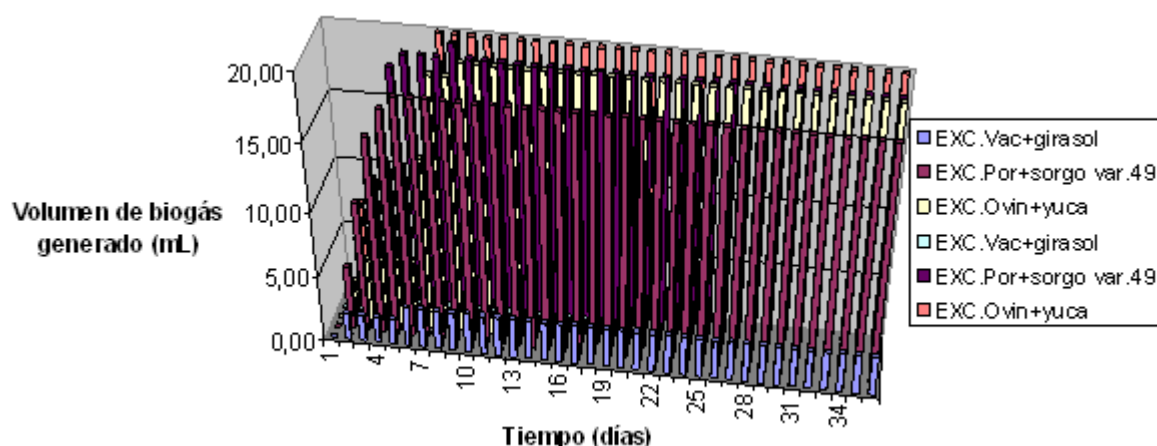


Figura 6. Producción de biogás en función del tiempo de digestión anaerobia por variante analizada. SERIE 2

En la figura 7 se observa que la variante compuesta por excreta vacuna + girasol, sigue siendo la peor en esta serie, siendo la mejor la variante formada por excreta porcina + sorgo (variedad 132-R), lo cual es un resultado importante a valorar a escala de biodigestores plásticos de pequeño formato. Las demás variantes tienen un crecimiento rápido en la

producción de biogás (a los cuatro días de comenzado el proceso de digestión). En este caso, la **Serie 3** en todas sus **variantes** fue montada con 95 % de excretas de origen animal en codigestión con 5 % de biomazas de origen agrícola. Lo cual puede ser considerado hasta el presente como una buena proporción según los resultados obtenidos en este estudio.

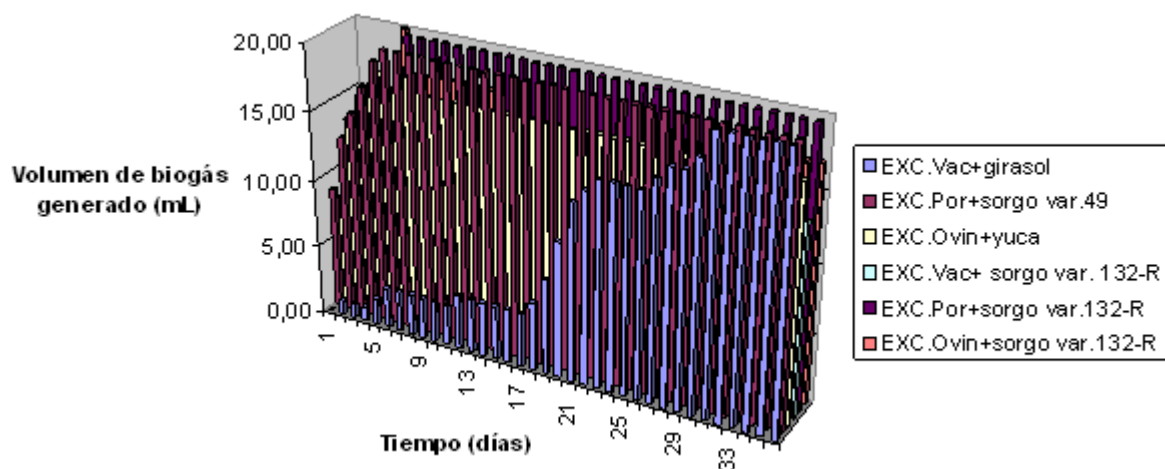


Figura 7. Producción de biogás en función del tiempo de digestión anaerobia por variante analizada. SERIE 3

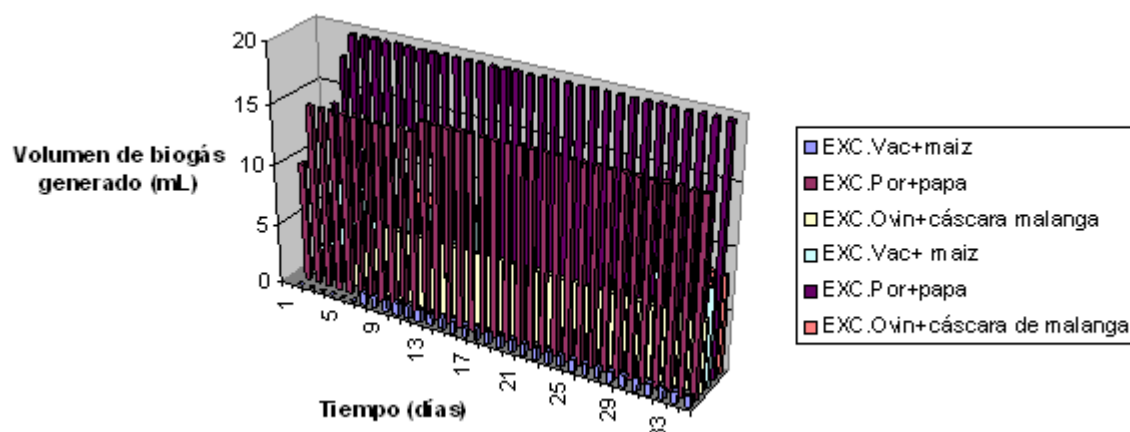


Figura 8. Producción de biogás en función del tiempo de digestión anaerobia por variante analizada. SERIE 4

La variante de peor producción de biogás fue la compuesta por excretas vacunas + maíz, (figura 8), y la mejor variante fue la formada por excreta porcina + papa, lo anterior constituye un resultado a tener en cuenta para el escalado de estas investigaciones a nivel de biodigestor plástico de pequeño formato. A excepción de las variantes formadas por excretas vacunas + maíz y la variante formada por excreta ovina + cáscara de malanga, todas las demás variantes presentan un crecimiento rápido en la producción de biogás (a partir del quinto día del inicio del proceso de codigestión anaerobia).

El porcentaje de germinación en la Serie 1, la variante 1 (44 %) fue la mejor, y superó al control (28 %), lo cual es un buen indicador para utilizar estos efluentes como bioabono, a continuación le sigue la variante 3 (24 %) (tabla 2)

En todas las otras variantes el porcentaje de germinación fue cero. En la Serie 2, se repitieron los mismos resultados, a excepción del control (40 %), que en este caso es superior al obtenido en la Serie 1, en las restantes variantes el por ciento de germinación fue cero. En la Serie 3, solamente se presentan resultados en la variante 1 (56 %), superior al control (44 %), lo cual indica que esta variante tiene buenas características para su utilización como bioabono, en las restantes variantes el por ciento de germinación es nulo.

Finalmente, en la Serie 4, los resultados obtenidos son: la variante 1 (32 %) fue la de mejor germinación, le siguió la variante 4 con un 12 %. El resto de las variantes no tuvo germinación.

Se debe destacar que los resultados obtenidos en el control (68 %) son los mejores en todas las Serie y variantes evaluadas.

En la figura 9 se aprecia prácticamente una homogeneidad en la evolución del pH en todas las variantes, con variantes de muy bajo pH (4) y otras de pH adecuado (entre 6 y 8).

Tabla 2. Porcentaje de germinación por Serie y variante analizada

SERIE 1	Porcentaje germinación
VAR 1	44
VAR 2	0
VAR 3	24
VAR 4	0
VAR 5	0
VAR 6	0
CONTROL	28
<b>SERIE 2</b>	
VAR 1	44
VAR 2	
VAR 3	24
VAR 4	0
VAR 5	0
VAR 6	
CONTROL	40
<b>SERIE 3</b>	
VAR 1	56
VAR 2	0
VAR 3	0
VAR 4	0
VAR 5	0
VAR 6	0
CONTROL	44
<b>SERIE 4</b>	
VAR 1	32
VAR 2	0
VAR 3	0
VAR 4	12
VAR 5	0
VAR 6	0
CONTROL	68

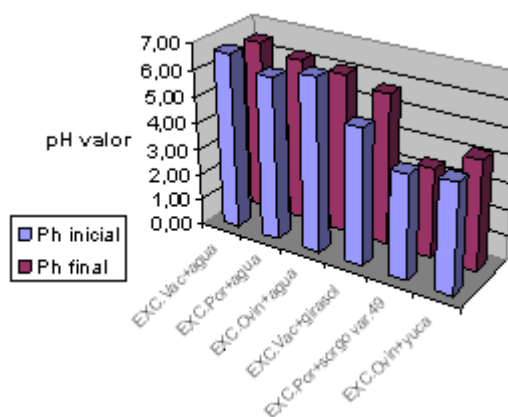


Figura 9. Evaluación del pH en variantes de la Serie 1

En la figura 10 se pueden apreciar algunas variaciones (caída) en la evolución del pH por variante, entre el pH inicial y el pH final.

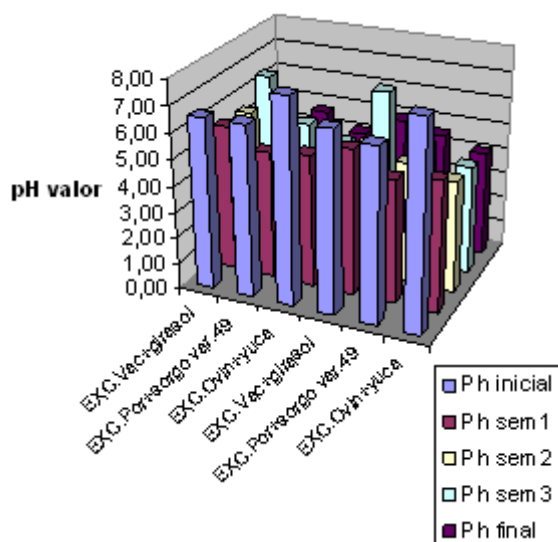


Figura 10. Evaluación del pH en variantes de la Serie 2

En la figura 11 se aprecia una irregularidad en el pH entre variantes, con valores que oscilan entre 4 y 7,5. Sin embargo en esta Serie (3) se han obtenido los mejores resultados en la producción de biogás. En la figura 12 se repite la irregularidad en el pH entre variantes, con valores que oscilan entre 5 y 7.

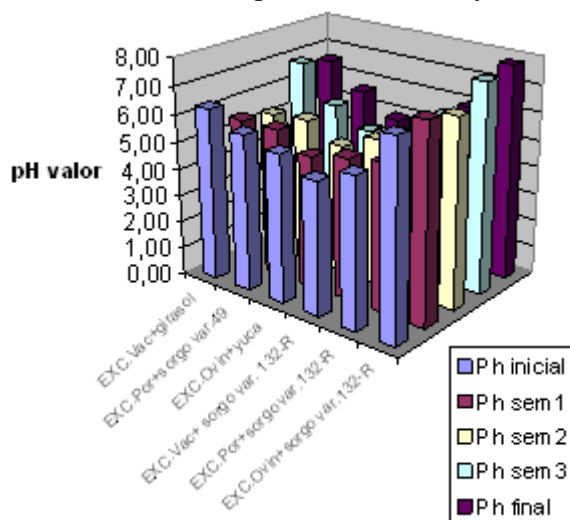


Figura 11. Evaluación del pH en variantes de la Serie 3

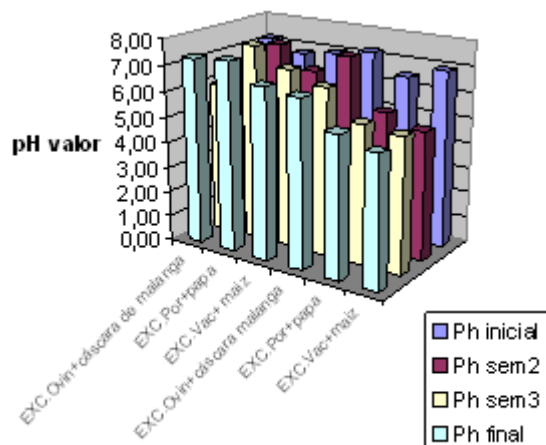


Figura 12. Evaluación del pH en variantes de la Serie 4

## CONCLUSIONES

1. Quedó evidenciado que la producción de biogás a escala de jeringas es posible.
2. Esta metodología es extrapolable a cualquier laboratorio que tenga el equipamiento necesario para llevarla a cabo.
3. La metodología de trabajo utilizada es novedosa y puede seguir enriqueciéndose con los resultados de las investigaciones en este laboratorio y en otros semejantes existentes a escala nacional o internacional.
4. Los resultados obtenidos son importantes para el estudio de la producción de biogás mediante codigestión de excretas de origen animal y biomásas de origen agrícola. Estos resultados serán tenido en cuenta en las próximas investigaciones a escala de biodigestores plásticos de pequeño formato.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Blütenl, M; H.P.S Makkar and K. Becker: "In vitro gas production. A technique revisited," *J. Animal. Physiol. Anim. Nutr.* 77, 24-34, 1997.
2. Costa, S. y M. Devadder: Biogás. Seminario energía. OLKOS ALARA. Argentina, 2007.
3. Fieves, V.; O. J. Babayemi and D. Demeyer: "Estimation of direct and indirect gas production in syringes: A tool to estimate short chain fatty acid production that requires minimal laboratory facilities," *Animal Feed Science and Technology* 123-124 (2005) 197-210.
4. Lima, O. R.: Evaluation of ruminal fermentation quality in sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) soybean (*Glycine max* (L) Merr) material by "in vitro" methods. Ghent University, Belgium, 2007.
5. Oechsner, H. and M. Brulé: Einfluss von Substrataufbereitung und enzymeinsatz auf die methanausbeute von grüner biomasse. Universität Hohenheim. Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen und Bauwesen (LA 740), 2007.



6. Van Nevel, C.J.; D.I. Demeyer; H.K. Henderickx and J.A. Martin: A simple method for the simultaneous determination of gas production and volatile fatty acid concentration in the rumen. Zeitschr. Tierphys. Tierernähr. Futtermittelk. 26, 91-100, 1970.

Recibido: 15/Junio/2007

Aceptado: 14/Septiembre/2007

35 años  
Centro Agrícola te invita

Si deseas publicar tus resultados  
originales,

Esta es tu Revista....



Biología Vegetal  
Sanidad Vegetal  
Suelos y Biofertilizantes  
Alelopatía y sustancias bioactivas  
Fitotecnias de los cultivos

*En formato de Artículos o Comunicaciones Breves*

Contáctenos...

[cagricola@uclv.edu.cu](mailto:cagricola@uclv.edu.cu)

<http://rca.agronet.uclv.edu.cu>