



## USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA *USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE*

ARTÍCULO ORIGINAL

# Estudio de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de residuos orgánicos a utilizar en la producción de biogás en Cuba

*Studies of some physical-mechanical and chemical property in organic waste to use for biogas production in Cuba*

Dr.C. Carlos M. Martínez Hernández<sup>I</sup>, Dr. Hans Oechsner<sup>II</sup>, Mathieu Brulé<sup>II</sup>, Dra. Elena Marañón Maison<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad de Hohenheim, Stuttgart, Alemania.

<sup>III</sup> Universidad de Oviedo, Campus de Gijón, España.

**RESUMEN.** El trabajo aborda el estudio de algunas propiedades físico-mecánicas y químicas de residuos orgánicos agrícolas los cuales pueden ser utilizados en la producción de biogás en las plantas en producción en Cuba, utilizando la co-fermentación de los mismos. Para su realización se colectaron las biomásas agrícolas y residuos de cantina; así como afluentes y efluentes de una planta de biogás en producción (“Niña Bonita”) próxima a la ciudad de Santa Clara, Villa Clara, Cuba, para su posterior análisis. Las muestras de las biomásas investigadas (sorgo 49V-96, sorgo-132 R, girasol JE-94, yuca, maíz, cáscara de malanga, pan, cáscara de boniato, papa y cáscara de maní); así como de los afluentes y efluentes de la planta de biogás fueron investigadas en laboratorios de la Universidad Central de las Villas; así como en el laboratorio de biogás de la Universidad de Hohenheim, Alemania. Los resultados mostraron que el rendimiento específico de metano máximo logrado fue con el girasol JE-94 (0,393 m<sup>3</sup>/kg VS), mientras que el mínimo valor se alcanzó con la cáscara de maní (0,095 m<sup>3</sup>/kg VS). El objetivo del trabajo, consistió en determinar algunas propiedades físico-mecánicas y químicas, tales como: relación carbono nitrógeno (C/N), rendimiento específico de metano (m<sup>3</sup>/kg VS), sólidos totales (TS), sólidos totales orgánicos (oTS), acidez (pH) y sólidos volátiles (VS) en residuos orgánicos agrícolas y de cantina, los cuales pueden ser usados para la producción de biogás mediante la co-fermentación con excretas de origen animal bajo las condiciones de Cuba. Para dar cumplimiento al objetivo se desarrollaron investigaciones a escala de jeringas, de biodigestores plásticos de pequeño formato; así como a escala real.

**Palabras clave:** residuos orgánicos agrícolas, planta de biogás, biomasa.

**ABSTRACT:** The work approaches the study of some physical-mechanical and chemical properties of agricultural organic residuals which can be used in the biogas production in Cuba's plants production, using their co-fermentation. It has also been necessary to collect agricultural biomass, canteen waste, influent and effluents of a biogas plant (“Niña Bonita”) next to Santa Clara's city, Cuba, for their later analysis. The investigated biomasses samples (sorghum.49V-96, sorghum-132 R, sunflower JE-94, cassava, corn, sweet potato skin, bread, potatoes and peanut skin); as well as the influent and effluents of the investigated biogas plant were analyzed in some laboratories belonging to the Central University of Las Villas. Other analyses were done in the biogas lab at Hohenheim University. The maximum value of specific methane yield achieved was with the sunflower JE-94 (0.393 m<sup>3</sup>/kg VS), while the minimum value was reached with the peanut shell (0.095 m<sup>3</sup>/Kg VS). The main objective of the work consists on determining some of the physical-mechanical and chemical properties like carbon nitrogen ratio (C/N), specific methane production (m<sup>3</sup>/kg VS), total solid (TS), organic total solid (oTS), alkalinity (pH) and volatile solid (VS) in agricultural organic residuals and canteen waste, which can be used for the production of biogas under co-fermentation with animal manure under Cuban conditions. In order to do this, we developed some experiments to syringes, small and real scale.

**Keywords:** agricultural organic residuals, plant of biogas, biomass.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el documento referenciado como Asistencia tecnológica (2008), el servicio para determinar propiedades físico-mecánicas y químicas en residuos o biomasa de origen agrícola o animal permite conocer el potencial máximo de biogás de un residuo o mezcla de residuos siguiendo el procedimiento descrito por la norma VDI 4630 (2006). Cada residuo orgánico tiene un potencial específico y existen diferencias notables según su composición. Las diferencias pueden darse incluso dentro de una misma familia de residuos.

El potencial máximo de producción de biogás de un residuo orgánico se determina experimentalmente mediante un ensayo discontinuo o batch a escala de laboratorio en el que el material objeto de estudio se biodegrada completamente en condiciones anaerobias controladas.

Algunos de los residuos orgánicos agroindustriales que pueden ser estudiados en Cuba son los siguientes:

- Residuos agrícolas de cooperativas de producción agropecuaria (excedentes, baja calidad, etc.).
- Residuos ganaderos (purines de cerdo, estiércol de vacuno, gallinaza, etc.).
- Residuos alimentarios de origen animal (mataderos e industrias cárnicas, residuos de las industrias lácteas, pescado y restos de la transformación de productos de mar, etc.).
- Residuos alimentarios de origen vegetal (excedentes y desechos de la producción hortofrutícola, bagazos de la industria de zumos, restos procedentes de conserveras, aceites usados, vinazas, etc.).
- Lodos grasos de depuradora industrial alimentaria.
- Residuos de la distribución alimentaria (caducado, devuelto o fuera de especificaciones).
- Residuos de las plantas de biocombustibles (glicerina y otros procedentes de plantas de bioetanol o biodiesel).

Fievez *et al.* (2005), mostraron que era factible probar diferentes sustratos y suplementos proteicos in vitro condiciones usando jeringas y predecir con una metodología simple y poco costosa, la producción de ácidos grasos volátiles y el contenido de metano en los mismos.

Chakravorty *et al.* (1996), plantean que la mezcla de excretas vacunas, desechos avícolas y del alcantarillado incrementan la producción de metano desde un 5,3 hasta 20,7% respecto a su producción en solitario. Estos autores plantean que el máximo incremento se logra cuando se mezclan excretas vacunas con residuos de alcantarilla.

Chandra *et al.* (2012), reportaron que el potencial bioquímico de metano de las mayores biomasa lignocelulosicas de cultivos agrícolas son:

Residuos de cultivo de maíz 0,338 ( $\text{m}^3/\text{kgVSa}$ ) a 0,290 ( $\text{m}^3/\text{kg TSA}$ ); paja de trigo 0,290 ( $\text{m}^3/\text{kgVSa}$ ) a 0,243 ( $\text{m}^3/\text{kg TSA}$ ); paja de arroz 0,302 ( $\text{m}^3/\text{kgVSa}$ ) a 0,232 ( $\text{m}^3/\text{kg TSA}$ ) y residuos de caña de azúcar 0,278 ( $\text{m}^3/\text{kgVSa}$ ) a 0,206 ( $\text{m}^3/\text{kg TSA}$ ). Estos autores plantean que el potencial bioquímico de metano (BMP) y el rendimiento de varios tipos de residuos

de biomasa lignocelulosicas agrícolas han sido determinadas por varios autores.

Weiland. (2003), ha reportado el potencial bioquímico de mazorcas de maíz como 0,410  $\text{m}^3/\text{kg VSa}$ . Deublein & Steinhäuser. (2008) reportaron que el rendimiento de biogás de paja de maíz varía desde 0,40 a 0  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos orgánicos totales con un contenido de metano de 55%. Tong *et al.* (1990) y Richards *et al.* (1991) reportaron valores del potencial de metano de residuos de maíz de 0,360 y 0,300 a 0,326  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos volátiles añadidos respectivamente.

Lane (1984), reportó una producción potencial de metano de 0,267  $\text{m}^3/\text{kg}$  sólidos volátiles en mazorcas de maíz.

Weiland (2003), reportó rendimiento en la producción de metano de paja de trigo de 0,390  $\text{m}^3/\text{kg}$  de materia orgánica seca alimentada al digestor anaeróbico. Sharma *et al.* (1988) y Moller *et al.* (2004) reportaron una producción potencial de metano en paja de trigo de 0,162 a 0,249 y 0,145 a 0,161  $\text{m}^3/\text{kg}$  sólidos volátiles, respectivamente.

Hashimoto (1986) reportó una producción potencial de metano en paja de trigo no tratada y tratada con hidróxido de sodio de 0,304 y 0,367 a 0,383  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos volátiles añadidos, respectivamente. Gunaseelan (1997) reportó un potencial de producción de metano en un rango de 0,190 a 0,327  $\text{m}^3/\text{kg}$  sólidos volátiles añadidos para paja de trigo. Tong *et al.* (1990) reportaron valores del potencial bioquímico de metano de 0,302  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos volátiles alimentados al digestor. Kaparaju *et al.* (2009), reportaron un rendimiento de la producción de metano en paja de trigo en efluentes de producciones de bioetanol y bio hidrógeno de 0,324 y 0,381  $\text{m}^3/\text{kg}$  sólidos volátiles, respectivamente.

El potencial bioquímico de metano de paja de arroz en ensayos tipo batch ha sido reportado entre 0,241 a 0,367  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos volátiles añadidos por Sharma *et al.* (1998) para tamaños de partículas de 30 a 1 mm. Deublein & Steinhäuser. (2008) reportaron rendimientos de la producción de biogás en paja de arroz en un rango de 0,550 a 0,620  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos orgánicos totales alimentados al digestor anaeróbico, con un contenido de metano de 55% en el biogás producido. Lei *et al.* (2010) reportaron un rendimiento potencial bioquímico de metano de la paja de arroz que varía desde 0,330 a 0,350 y desde 0,270 a 0,290  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos volátiles, respectivamente. Deublein y Steinhäuser. (2008) han reportado que los rendimientos en la producción de biogás en la digestión anaeróbica de la mayoría de los residuos de cultivos de cereales varían desde 0,200 a 0,500  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos orgánicos totales alimentados a digestores anaeróbicos.

El potencial bioquímico de metano de biomasa de la caña de azúcar ha sido reportado con variaciones desde 0,266 a 0,314  $\text{m}^3/\text{kg}$  de sólidos volátiles y desde 0,230 a 0,300  $\text{m}^3/\text{kg}$  sólidos volátiles, respectivamente por Deren & Snyder. (1991) y Chynoweth *et al.* (1993).

En Cuba es prácticamente desconocida esta metodología, las plantas cubanas para la producción de biogás solo utilizan excretas vacunas o excretas porcinas para estos fines en mono fermentación; por lo tanto la codigestión de estas excretas con residuos agrícolas no es empleada hasta el

presente, de aquí la importancia de dar a conocer esta metodología para el caso cubano. Este trabajo ha tomado como referencias la norma alemana VDI 4630 (2006) y trabajos desarrollados por investigadores de las Universidades de Hohenheim y Rostock, Alemania; así como algunos trabajos publicados por el autor en años anteriores. Martínez *et al.* (2009), Martínez *et al.* (2008), Martínez *et al.* (2009), Martínez *et al.* (2011) y Martínez *et al.* (2012). Este trabajo pretende profundizar en algunas de las propiedades físico-mecánicas y químicas de los residuos orgánicos agrícolas y de cantina cubanos evaluados con el objetivo de ver cuáles son los más idóneos para ser usados para la producción de biogás mediante la co-fermentación con excretas de origen animal, en las condiciones particulares de Cuba.

## MÉTODOS

Este trabajo fue realizado en la Universidad Central de las Villas, pero algunas investigaciones fueron obtenidas en la Universidad de Hohenheim, Alemania. Estos resultados han sido obtenidos en investigaciones realizadas durante el período comprendido desde los años 2009 hasta el 2012 de acuerdo con varios proyectos de investigación realizados de forma conjunta entre ambos centros. Para su desarrollo se han tenido en cuenta diferentes normas vigentes para este tipo de investigación.

Caracterización de los sustratos: Se realizó de acuerdo con la norma VDI 4630 (2006), siguiendo la caracterización y clasificación general de sustratos en grupos particulares se pueden estimar las posibilidades de fermentabilidad de estos materiales orgánicos. Esto es también importante para la manipulación de estos materiales y de algunos factores especiales que deben tenerse en cuenta para la planificación y el uso de los mismos en instalaciones de biogás.

Los residuos agrícolas investigados fueron: sorgo 49V-96, sorgo-R-132, girasol JE-94, yuca, maíz, cáscara de malanga, cáscara de boniato, papa, y cáscara de maní; como residuo de cantina se valoró el pan blanco.

Una vez seleccionados los sustratos, se procedió a realizar un conjunto de análisis dentro de los cuales tuvieron lugar los siguientes:

1. Determinación del porcentaje de humedad, y la materia seca de acuerdo con la norma NC74-22:1985.
2. Determinación del contenido de cenizas de acuerdo con la norma NC74-30:1985.
3. Molido y cribado de estos sustratos en fracciones de tamaño de partículas menores a 1 mm.
4. Determinación de la relación carbono/nitrógeno por sustrato analizado.
5. Evolución del pH de las combinaciones de sustratos más excretas vacunas evaluados.
6. Evaluación del rendimiento específico de metano por sustrato evaluado.
7. Evaluación de la inocuidad de los efluentes tratados.

A partir de estos datos de entrada, softwares elaborados

para estos fines y mediante la utilización de la norma VDI4630 (2006). Se procedió a calcular los siguientes parámetros:

- Tasa de biodegradabilidad.
- Potencial máximo de metano ( $\text{m}^3/\text{kg}$  VSa).
- Calidad o composición del metano generado/sustrato evaluado (%  $\text{CH}_4$ , %  $\text{CO}_2$ , %  $\text{H}_2\text{S}$ ).

En cuanto a la evaluación de la inocuidad de los afluentes y efluentes tratados en la planta de biogás de referencia; así como las cualidades de estos para ser utilizados como biofertilizantes, se efectuaron pruebas para determinar coliformes fecales, coliformes totales y pseudomonas areuginosas. Estas pruebas se efectuaron bajo el protocolo existente para estos casos y de acuerdo con las normas cubanas NC74-22:1985, NC74-30:1985, NC27:1999, NC93-01-128:1988 y NC93-01-129:1988.

Las pruebas de calidad de los efluentes para ser utilizados como biofertilizantes, se realizaron utilizando magentas plásticas, las cuales fueron llenada con suelos pardos carbonatados, hasta quedar enrasadas (400 g de suelo). Se utilizaron semillas de frijoles blancos (6 semillas/magenta), variedad BAT-482. Las semillas de frijoles fueron imbuidas en agua normal para el control y en los efluentes investigados para las réplicas objeto de investigación durante 6 horas anterior a su siembra. Los efluentes utilizados fueron diluidos en agua en una proporción de tres partes de agua por una parte de efluente. Posteriormente se dejaron en reposo durante 90 días, para reducir su toxicidad. Posteriormente fueron sembradas en las magentas hasta su germinación. En cada caso el protocolo de investigación consistió en colocar tres controles y nueve réplicas de las muestras investigadas.

Para llevar a cabo todo lo anterior se contó además con la colaboración de investigadores y equipamiento de los laboratorios de biogás de la Universidad de Hohenheim, Alemania.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De análisis de la Figura 1, se puede apreciar el comportamiento de todos los sustratos evaluados. Se aprecia que el mayor rendimiento específico de metano fue obtenido con el sustrato girasol JE-94 ( $0.393 \text{ m}^3/\text{kg}$  VSa), mientras que el menor valor obtenido fue con el sustrato cáscara de maní ( $0.095 \text{ m}^3/\text{kg}$  VSa).

En la Tabla 1 se presentan los resultados referidos a los sólidos totales y los sólidos orgánicos por sustrato evaluado, además se puede apreciar la media de los valores obtenidos; así como la desviación estándar en los parámetros objeto de análisis.

En la Tabla 2 se presentan los resultados referidos a la relación carbono/nitrógeno por sustrato evaluado.

En este caso solo se alejan de la relación óptima C/N= 30, los sustratos señalados con negritas, siendo el peor en este parámetro la yuca, siguiéndole la cascara de boniato, el pan y finalmente el girasol variedad JE-94. Los otros sustratos están dentro o muy próximos a la relación óptima.

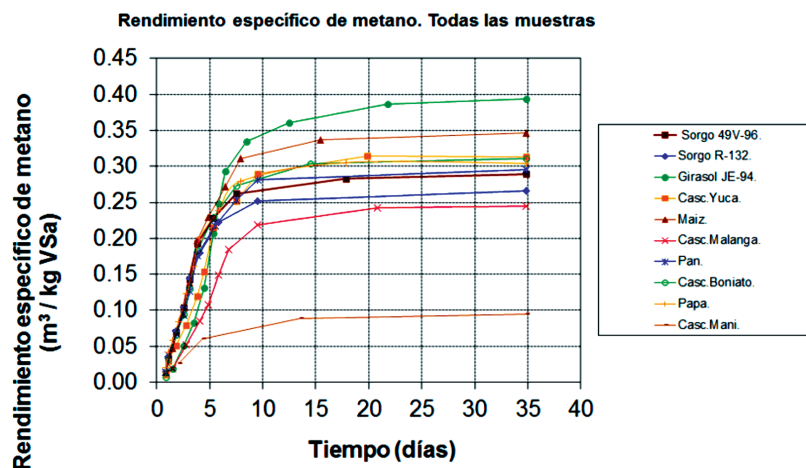


FIGURA 1. Rendimientos específicos de metano. Todas las muestras (biomasas evaluadas).

TABLA 1. Determinación de TS y oTS en sustratos evaluados

Prueba	Número	Repeticiones	Media		Desviación estándar			
			TS (%)	oTS (%)	TS (%)	oTS (%)		
Inóculo (excreta vacuna)	1	1	3,68	44,67	3,40	53,44	0,60	0,89
	2	2	3,28	53,11				
	3	3	3,25	53,78				
Sorgo 49 V-96	4	1	87,60	97,03	87,60	97,06	0,02	0,05
	5	2	87,58	97,12				
	6	3	87,61	97,03				
Sorgo 132-R	7	1	85,83	97,64	85,83	97,56	0,05	0,08
	8	2	85,79	97,53				
	9	3	85,87	97,49				
Girasol	10	1	91,76	95,88	91,73	95,92	0,03	0,05
	11	2	91,70	95,98				
	12	3	91,75	95,91				
Yuca	13	1	89,33	97,98	89,34	98,00	0,07	0,10
	14	2	89,41	97,92				
	15	3	89,29	98,12				
Maíz	16	1	87,18	98,37	87,20	98,34	0,05	0,02
	17	2	87,24	98,33				
	18	3	87,17	98,34				
Cáscara Malanga	19	1	90,92	89,04	90,64	89,28	0,29	0,23
	20	2	90,61	89,42				
	21	3	90,40	89,38				
Pan	22	1	87,56	97,76	87,51	97,43	0,10	0,41
	23	2	87,56	96,99				
	24	3	87,41	97,54				
Cáscara Boniato	25	1	93,66	93,04	92,74	92,89	0,87	0,19
	26	2	92,42	92,69				
	27	3	92,15	92,93				
Papa	28	1	105,25	94,20	105,36	93,76	0,18	0,41
	29	2	105,26	93,60				
	30	3	105,58	93,49				
Cáscara Maní	31	1	93,99	94,74	93,88	94,78	0,11	0,12
	32	2	93,85	94,91				
	33	3	93,80	94,69				



**TABLA 2. Relación C/N en sustratos evaluados**

Sustratos evaluados	Nitrógeno	Carbono	Relación (C/N)
Sorgo V-49-96	1,42	39,2	28
Sorgo 132-R	1,29	38,8	30
Girasol JE-94	2,17	51,4	24
Yuca	0,3	39,0	130
Maíz	1,31	40,2	31
Cáscara de malanga	1,24	38,1	31
Pan	1,82	37,9	21
Cáscara de boniato	0,75	38,7	52
Cáscara de maní	1,3	46,1	35
Papa	1,57	39,0	25

En la Tabla 3, se presentan los valores finales obtenidos por sustrato analizado al culminar el proceso de biodegradación

de estas biomásas. Del análisis de la Tabla 3 se destaca que las biomásas con mejor rendimiento específico de metano son el girasol JE-94 y el maíz. Resultando las biomásas cáscara de maní e inóculo (excreta bovina), las biomásas de menores rendimiento específico de metano.

La Figura 2, muestra la evolución de pH de los diferentes sustratos analizados en co-digestión con excretas vacunas en el ciclo de biodigestión analizado. Como se puede apreciar en la figura 2, la evolución del pH en todos los sustratos analizados durante el ciclo de biodigestión es favorable y cumple con los valores recomendados (6 a 8) a excepción de los sustratos sorgo V49-96, yuca, girasol JE-94, los cuales sobrepasan estos valores al final del proceso, sin embargo cuando esto ocurre, ya los mismos han sido degradados desde el punto de vista de su producción de metano, por lo que no constituye una limitación en este sentido.

**TABLA 3. Valores finales obtenidos por sustratos evaluados**

No	Sustratos evaluados	Cantidad de gas corregida (mL)	Cantidad de metano corregida (mL)	Contenido de metano corregido (% Volumen)	Rendimiento específico de gas (m <sup>3</sup> /kg oTS)	Rendimiento específico de metano (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kg oTS)	Promedio	Desviación estándar (%)
1	Inoculum,a (excreta vacuna)	38	20	52	0,042	0,022	0,022	6,3
3	Inoculum,b (excreta vacuna)	36	19	54	0,040	0,021		
4	Inoculum,c (excreta vacuna)	39	22	56	0,043	0,024		
11	Sorgo 49V-96,a	219	99	45	0,628	0,285	0,289	2,3
12	Sorgo 49V-96,b	218	103	47	0,623	0,294		
14	Sorgo 132-R,a	208	96	46	0,597	0,276	0,266	5,5
15	Sorgo 132-R,b	191	89	47	0,547	0,256		
17	Girasol JE-94,a	248	144	58	0,671	0,389	0,393	1,3
18	Girasol JE-94,b	244	147	60	0,660	0,397		
20	Cáscara,Yuca,a	255	110	43	0,711	0,306	0,313	3,3
21	Cáscara,Yuca,b	249	115	46	0,693	0,321		
23	Maíz,a	254	122	48	0,719	0,347	0,346	0,1
24	Maíz,b	253	122	48	0,716	0,346		
26	Cáscara,Malanga,a	164	75	46	0,508	0,232	0,245	7,3
27	Cáscara,Malanga,b	171	83	49	0,530	0,257		
29	Pan,a	230	102	45	0,658	0,293	0,295	1,0
30	Pan,b	226	104	46	0,648	0,298		
32	Cáscara,Boniato,a	232	115	49	0,671	0,331	0,311	9,0
33	Cáscara,Boniato,b	227	101	45	0,655	0,291		
35	Papa,a	227	111	49	0,636	0,311	0,304	3,0
36	Papa,b	231	106	46	0,646	0,298		
38	Cáscara,Maní,a	60	33	55	0,173	0,096	0,095	1,3
39	Cáscara,Maní,b	59	32	55	0,172	0,094		

Los resultados de la inocuidad de los afluentes y efluentes tratados en la planta de biogás de referencia se pueden apreciar en la Tabla 4.

Los valores obtenidos en la Tabla 4 muestran que están por encima de los parámetros establecidos en la norma cubana (OFICINA 27: 1999); por lo tanto estos efluentes deben ser tratados antes de ser utilizados como biofertilizantes o vertidos en los respectivos espejos de agua de acuerdo con la norma NC-27: 1999.

Resultados referidos a la germinación de granos utilizando los efluentes: en las réplicas del control el resultado obtenido fue como promedio igual a 88,33% de germinación. En las réplicas de los diferentes tratamientos evaluados los valores obtenidos fueron como promedio un 90,73% de germinación. Esto significa que el porcentaje de germinación de las réplicas de los tratamientos con respecto al control fue como promedio un 2,4% superior.

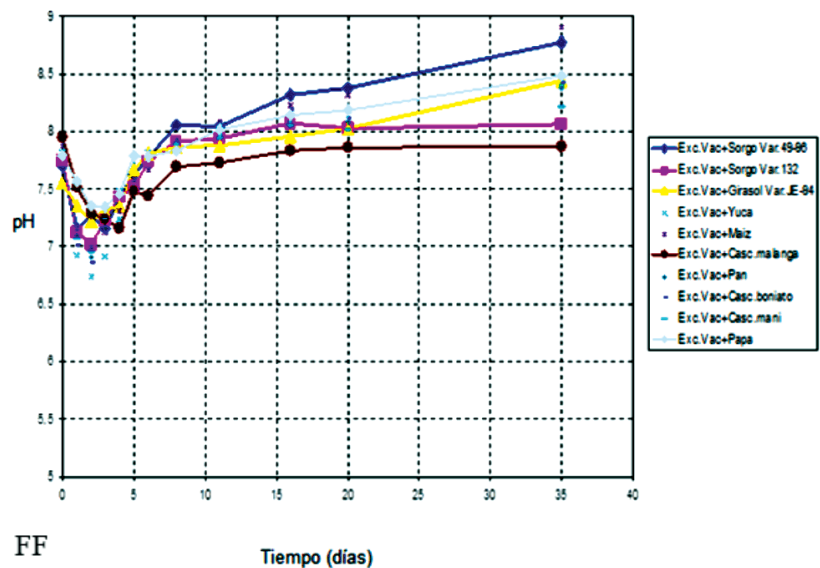


Figura 2. Evolución del pH en combinaciones de biomásas evaluadas.

TABLA 4. Parámetros de inocuidad evaluados

Muestra No.	1	1	2	2	3	3
Variables	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
Coliformes fecales	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600
Coliformes totales	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600	≥ 1600
Pseudomonas aeruginosas	2*10 <sup>9</sup>	8*10 <sup>8</sup>	8.5*10 <sup>9</sup>	1.12*10 <sup>10</sup>	5*10 <sup>8</sup>	2.3*10 <sup>9</sup>

## CONCLUSIONES

- Las biomásas con mejor rendimiento específico de metano son el girasol JE-94 (0,393 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg oTS) y el maíz (0,346 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg oTS). Resultando las biomásas cáscara de maní (0,095 m<sup>3</sup>/kg VSa) e inóculo (excreta bovina), las biomásas de menor rendimiento específico de metano.
- En relación a la evolución del pH se puede apreciar que todos los sustratos se comportan favorablemente durante todo el ciclo con valores que oscilan entre 0 A 8,0 a excepción de los sustratos sorgo V49-96, yuca, girasol JE-94, los cuales terminan el ciclo con valores de pH por encima de 8, sin embargo cuando esto ocurre, ya los mismos han sido degradados desde el punto de vista de su producción de metano, por lo que no constituye una limitación en este sentido.

- Los valores de inocuidad obtenidos están por encima de los parámetros establecidos en la norma cubana (OFICINA:1999), por lo tanto estos efluentes deben ser tratados antes de ser utilizados como biofertilizantes o vertidos en los respectivos espejos de agua de acuerdo con la norma NC27:1999.
- Los resultados referidos a la germinación de granos utilizando los efluentes muestran que en el control se alcanzó un 88,33% de germinación. En los diferentes tratamientos el porcentaje de germinación fue del 90,73%. Esto significa que el porcentaje de germinación de los tratamientos con respecto al control fue como promedio un 2,4% superior. Este resultado muestra la posibilidad que tienen estos efluentes de ser utilizados como biofertilizantes cuando son tratados correctamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asistencia tecnológica, [en línea] mayo 2008, Valencia, España, Disponible en: [www.ainia.es](http://www.ainia.es) [Consulta: Mayo, 2008].

FIEVEZ, V; O.J. BABAYEMI & 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*. No.123-124:197-210, 2005.

CHAKRAVORTY, N; S G.M. ARKAR & S.C. LAHIRI: "Competitive biomethanation using substrates in combination and by cross inoculation". *The Environmentalist*. (16): 111-115, 1996.

CHANDRA, R; H. TAKEUCHI; T. HASEGAWA: "Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* No.24: 1462-1476, 2010.

CHYNOWETH, D. P.; E. TURICK; M. OWENS; W. JERGER: "Biochemical methane potential of biomass and waste feedstocks". *Journal of*

*Biomass & Bioenergy*, 5 (1): 95–111, 1993.

- DEUBLEIN, D. & A. STEINHAUSER: *Bio gas from waste and renewable sources: an introduction*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; Germany, 2008.
- DEREN, C.W. & H. SNYDER: "Biomass production and biochemical methane potential of seasonally flooded inter-generic and inter-specific sacharum hybrids", *Journal of Bioresource Technology*, No.36: 179–84, 1991.
- GUNASEELAN, V. N.: "Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review". *Journal of Biomass & Bioenergy*, 13 (1–2): 83–114, 1997.
- KAPARAJU, P.; M. SERRANO; B. THOMSEN; P. KONGJAN & I. ANGELIDAKI: "Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept". *Journal of Bioresource Technology*, No.100: 2562–2568, 2009.
- LANE, A.G.: "Laboratory scale anaerobic digestion of fruit and vegetable solid waste". *Journal of Biomass*, No.5: 245–249, 1984.
- LEI, Z.; J. CHEN; Z. ZHANG & N. SUGIURA: "Methane production from rice straw with acclimated anaerobic sludge: effect of phosphate supplementation", *Journal of Bioresource Technology*, No.101:4343–4348, 2010.
- MARTÍNEZ, H. C.M.; Y. GARCÍA & R. BERNIA: "Producción de biogás en condiciones de campo utilizando jeringas". En: *V Conferencia Internacional sobre Desarrollo Agropecuario y Sostenibilidad (AGROCENTRO, 2012)* UCLV.ISBN- 978-950-250-775-3, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2012.
- MARTÍNEZ, H. C.M.; S. BOETTINGER; H. OECHSNER; N. KANSWOHL & M. SCHLEGEL: *Investigaciones a escala de jeringas. Caso Aleman. (Researching to syringes scale. German case)*. [en línea] Sección: Agricultura-Bioenergías. 2009-08-26, Disponible en: [www.e-campo.com](http://www.e-campo.com). [Consulta: Agosto, 2009].
- MARTÍNEZ, H. C.M.; S. BÖTINGER; H. OECHSNER; N. KANSWOHL; M. SCHLEGEL; A. MARTÍNEZ; Y. PÉREZ; Y. GARCÍA: *Estudio de la producción de biogás a escala de jeringas*, [en línea], Sección Ganadería-Bovinos. 2008-10-07. Disponible en: [www.e-campo.com](http://www.e-campo.com) [Consulta: Octubre, 2008].
- MARTÍNEZ, H. C.M.; BÖTINGER S; OECHSNER H; KANSWOHL N; SCHLEGEL M; PÉREZ Y.: *Potencialidad de diferentes biomásas en codigestión con excretas de origen animal para producción de biogás a escala de jeringas* [en línea], Sección Agricultura. Bioenergías. 2009-07-22. Disponible en: [www.e-campo.com](http://www.e-campo.com) [Consulta: Julio, 2009].
- MARTÍNEZ, H. C.M.; Y. GARCÍA; R. BERNIA; M. PRADO; L. RÍOS; R. CUPULL; E. MARRERO; L. VALIDO: *Estudio de la producción de biogás utilizando diferentes biomásas de origen agrícola y animal*, 9pp., Proyecto CITMA Territorial No. 0321. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2011.
- MOLLER, H. B.; G. SOMMER & K. AHRING: "Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure", *Journal of Biomass & Bioenerg*, No.26:485–95, 2004.
- HASHIMOTO, A. G.: "Pretreatment of wheat of straw for fermentation to methane". *Journal of Biotechnology & Bioengineering*, No.28:1857–1866, 1986.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN.NC 74-22:1985: *Norma Cubana, Ganadería. Alimentación animal. Determinación de la humedad inicial y de la materia seca*, Vig. 1985.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN.NC 74-30:1985. *Norma Cubana, Ganadería, Alimentación animal. Determinación del contenido de cenizas*, Vig. 1985.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN.NC 27:1999: *Norma Cubana, Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado, 11pp., Especificaciones*, 1999.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NC 93-01-128:1988: *PMA, Norma Cubana, Hidrosfera, Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales*, Vig. 1988.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NC 93-01-129:1988. *PMA, Norma Cubana, Hidrosfera, Determinación del número más probable de pseudomonas aeruginosa*, Vig. 1988.
- RICHARDS, B.K.; J. CUMMINGS & J. JEWELL: "High rate low solids methane fermentation of sorghum, corn and cellulose". *Journal of Biomass & Bioenergy*, I (5): 249–60, 1991.
- SHARMA, S. K.; M. MISHRA; P. SHARMA & S. SAINI: "Effect of particle size on biogas generation from biomass residues", *Journal of Biomass*, No.17:251–263, 1988.
- TONG, X.; S. LAURENCE; L. MCCARTY: "Methane fermentation of selected lignocellulosic materials". *Journal of Biomass*, No.21: 239–255, 1990.
- VDI-RICHTLINIEN-4630: *Fermentation of organic material characterization of substrate, sampling collection of material data, fermentation tests*, 92pp., Vig. 2006.
- WEILAND, P.: "Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany", *Journal of Applied Biochemistry & Biotechnology*, No.:109: 263–274, 2003.

**Recibido:** 14 de septiembre de 2012.

**Aprobado:** 28 de enero de 2014.

Carlos M. Martínez Hernández, Prof. Titular, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Carretera a Camajuaní km.5.5. CP: 54830, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, Tel: 53-42-281692, Fax: 53-42-281608, Correo electrónico: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)