



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -  
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

*Booklets*



**RENIECYT**

Registro Nacional de Instituciones  
y Empresas Científicas y Tecnológicas

2015-20795

**CONACYT**

LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar  
DOI - REBID - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

**Title:** Potencial de generación de biogás de un rancho ganadero en la  
comunidad de San Bartolo Cuautlalpan

**Author:** Víctor Hernández-Gómez, Omar Olvera-García

**Editorial label ECORFAN:** 607-8324  
**BCIERMIMI Control Number:** 2016-01  
**BCIERMIMI Classification(2016):** 191016-0101

**Pages:** 31

**Mail:** [vichugo@unam.mx](mailto:vichugo@unam.mx)

**RNA:** 03-2010-032610115700-14

**ECORFAN-México, S.C.**

244 – 2 Itzopan Street  
La Florida, Ecatepec Municipality  
Mexico State, 55120 Zipcode  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: ecorfan-mexico.s.c.  
E-mail: [contacto@ecorfan.org](mailto:contacto@ecorfan.org)  
Facebook: ECORFAN-México S. C.

**Twitter:** @EcorfanC

[www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org)

**Holdings**

Bolivia	Honduras	China	Nicaragua
Cameroon	Guatemala	France	Republic of the Congo
El Salvador	Colombia	Ecuador	Dominica
<b>Peru</b>	<b>Spain</b>	<b>Cuba</b>	<b>Haití</b>
Argentina	Paraguay	Costa Rica	Venezuela
<b>Czech Republic</b>			



## INTRODUCCIÓN

### **Los ranchos dedicados a la ganadería y a la siembra:**

Emplean los desechos orgánicos del ganado como abono para sus tierras

Ocasiona que el viento arrastre parte de esos desechos

La producción de desechos orgánicos es más alta de la que se puede emplear como abono

Se almacena a cielo abierto hasta su utilización

### **La necesidad de buscar alternativas para su correcto manejo y también para su aprovechamiento:**

Biodigestores

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática** 2016



## INTRODUCCIÓN

El biogás que se produce está compuesto por una mezcla de gases tales como metano, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, hidrógeno y nitrógeno.

En la comunidad de San Bartolo Cuautlalpan, Zumpango, Estado de México, se encuentra ubicado el rancho Los dos hermanos, esta propiedad se dedica principalmente a la siembra de maíz y obtiene ingresos adicionales a través de la compra, cría y venta de ganado bovino y porcino. La demanda de energía eléctrica del rancho es abastecido a través de la CFE y es utilizada para realizar actividades como la preparación de alimentos y el alumbrado, con una demanda eléctrica de aproximadamente 80 kWh bimestrales.

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática** 2016



## INTRODUCCIÓN

Este proyecto consiste en analizar la factibilidad de emplear los desechos orgánicos del rancho, para generar la energía eléctrica requerida para cubrir la demanda del rancho y nutrir sus cultivos con el abono generado por el biodigestor, lo cual provocaría un ahorro en la facturación energética y la reducción de la contaminación ambiental del lugar.

*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática** 2016



## ANTECEDENTES

De un análisis de los antecedentes se encontró que, los países con economías emergentes poseen una gran cantidad de desechos orgánicos procedentes de distintas fuentes, sin embargo, no cuentan con la infraestructura necesaria para explotar al máximo su potencial energético, en gran medida debido a que los proyectos de esta índole suelen ser planeados a gran escala y a que los estudios realizados contemplan regiones considerablemente extensas o sumamente pobladas. No obstante, se debe tomar en cuenta que en muchas ocasiones los desechos orgánicos no se encuentran distribuidos uniformemente a lo largo y ancho de las áreas consideradas, lo cual dificulta las labores de recolección y tratamiento de los desechos y puede causar la exclusión de cierta cantidad de materia prima. Si bien los estudios realizados a gran escala muestran resultados alentadores, los pequeños proyectos para aprovechar el biogás y generar electricidad con él, no han sido contemplados como una alternativa para el autoabasto energético.

*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática** 2016



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El proyecto contempló el empleo de los biodigestores del LIER que tienen una capacidad de 33 litros, por lo cual se les dio mantenimiento para verificar el correcto funcionamiento de los termopares, el de las válvulas de extracción del biogás y el sellado de los biodigestores.

Con el fin de determinar el rango adecuado de dilución para las mezclas del sustrato, se realizaron pruebas de masa seca y masa volátil de los excrementos de vaca y cerdo.

*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

**2016**

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Consiste en hornear las muestras de excremento durante 48 horas a 105 °C para hallar la masa seca, y posteriormente incinerar tales muestras durante 6 horas a 550 °C para obtener la masa volátil.



*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La masa seca corresponde a la materia libre de humedad que compone el excremento, y se calcula empleando la ecuación:

$$m_s = \left[ 1 - \frac{m_h - m_d}{m_h} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

$m_s$  = masa seca, g.

$m_h$  = masa hidratada, g.

$m_d$  = masa deshidratada, g.

San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

**2016**



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La masa volátil es el porcentaje de materia orgánica presente en la biomasa, e indica qué fracción de la misma ha de producir biogás, de modo que un porcentaje alto es deseable:

$$m_v = \left[ \frac{m_d - m_i}{m_d} \right] \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

$m_v$  = masa volátil, g.

$m_d$  = masa deshidratada, g.

$m_i$  = masa incinerada, g.

San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

**2016**

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Tras determinar las concentraciones de los sustratos, se vació el agua y materia orgánica en cada biodigestor, revolviendo ambas partes hasta incorporarse homogéneamente. Tras culminar dicha fase se sellaron correctamente los biodigestores y se verificó la ausencia de fugas.

Biodigestor no.	Tipo de desecho	Porcentaje de materia [%]	Porcentaje de agua [%]
1	Excremento de cerdo	50	50
2	Excremento de cerdo	66.67	33.33
3	Excremento de cerdo	33.33	66.67
4	Excremento de vaca	50	50
5	Excremento de vaca	25	75

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Durante las primeras 15 semanas de la fase experimental, se midió diariamente la presión de biogás generado y la temperatura del sustrato, mientras que el porcentaje de metano presente en el biogás y el pH del sustrato se cuantificaron semanalmente. Las primeras mediciones de porcentaje de metano en el biogás se realizaron entre las semanas 3 y 4, a partir de las cuales se tuvo suficiente biogás para realizar la prueba correspondiente. Tras las 15 primeras semanas del experimento, la presión del biogás y la temperatura dentro del biodigestor se midieron cada tercer día, en tanto que los otros parámetros se midieron normalmente.

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática** 2016



## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La medición de la temperatura se realizó con ayuda de un termómetro digital conectado a un termopar que forma parte de la tapa del biodigestor.

La presión se midió empleando un manómetro conectado a la válvula superior de los biodigestores.

Debido a que los biodigestores tienen una resistencia máxima a presiones internas de 7 psi y no cuentan con válvulas de alivio de presión, siempre que la presión interna de un biodigestor sobrepasó los 6 psi, se quemó cierta cantidad de biogás, de modo que se eliminara el riesgo de una explosión por exceso de presión.

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática** 2016

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Tras cuantificar la presión acumulativa semanal y su respectivo porcentaje de metano, el siguiente paso del desarrollo experimental, consiste en determinar la masa molar del biogás, la cual equivale a la suma de la masa molar de cada compuesto que lo integra.

$$M = M_{CH_4} + M_{CO_2} \quad (3)$$

Donde:

M = masa molar del biogás, kg/mol

$M_{(CH)_4}$  = masa molar del metano, kg/mol

$M_{(CO)_2}$  = masa molar del dióxido de carbono, kg/mol

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Dado que la masa molar del metano y dióxido de carbono son 0.01604 kg/mol y 0.04401 kg/mol, respectivamente, la masa molar de tales compuestos para una concentración particular está dada por las ecuaciones (4) y (5):

$$M_{CH_4} = 0.01604 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times \%CH_4 \quad (4)$$

$$M_{CO_2} = 0.04401 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times \%CO_2 \quad (5)$$

Donde:

$0.01604 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$  = peso molecular del metano, kg/mol

$\%CH_4$  = porcentaje de metano presente en la muestra, %

$0.04401 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$  = peso molecular del dióxido de carbono, kg/mol

$\%CO_2$  = porcentaje de metano presente en la muestra, %

*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

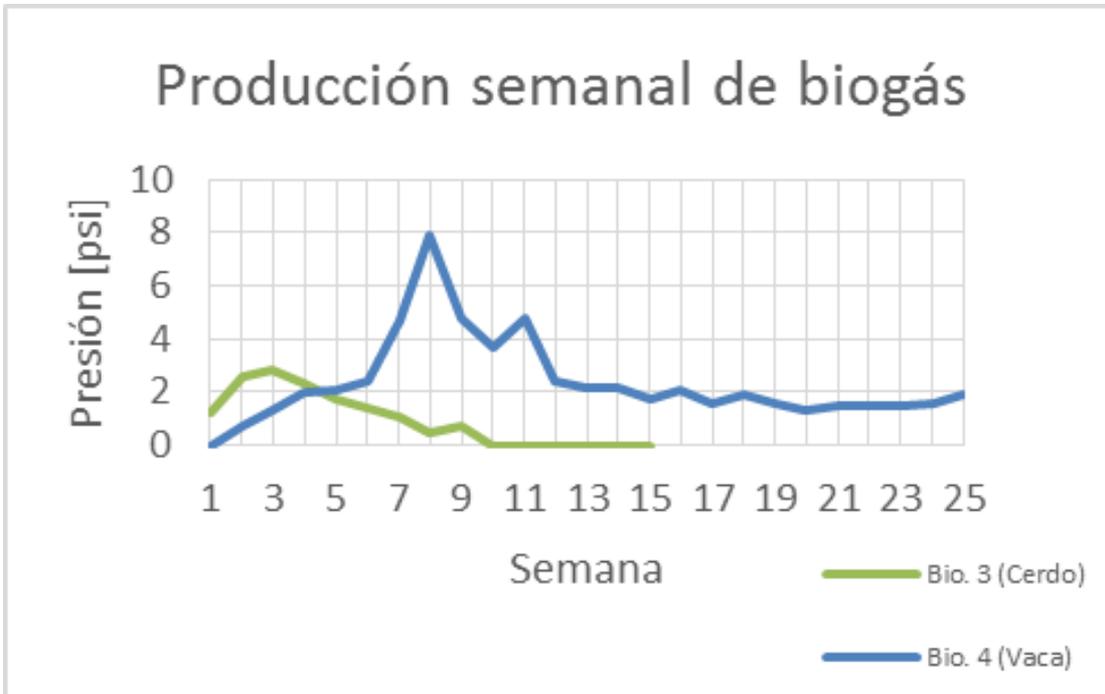
Con los resultados obtenidos se determinaron tanto la masa seca como la masa volátil, y considerando dichas variables se crearon dos diluciones distintas para excrementos de vaca y tres para desechos de cerdo.

Tipo de desecho	Masa hidratada [g]	Masa deshidratada [g]	Masa incinerada [g]	Masa seca [%]	Masa volátil [%]
Excremento de cerdo	144.2	32.4	3.1	22.47	90.43
Excremento de vaca	283	42.8	12.5	15.12	70.79

San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Gráfica comparativa de las presiones acumuladas por semana de las muestras más representativas de biogás producido por vaca y cerdo.



Durante las 4 primeras semanas las excretas de cerdo produjeron mayor cantidad de biogás, sin embargo, las de vaca produjeron una mayor cantidad durante las semanas posteriores, e incluso durante más tiempo.

Las excretas de cerdo sólo produjeron biogás durante 10 semanas, alcanzando su mayor producción en la 3 semana, mientras que las excretas de vaca alcanzaron su mayor producción de biogás en la semana 8.

*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

La posible causa de la gran diferencia en la duración de la producción de biogás de ambas muestras es la solubilidad de las excretas, pues mientras los desechos ovinos formaron una mezcla con escasa presencia de partículas no disueltas, los desechos porcinos continuaron presentando una elevada cantidad de gránulos tras mezclarse con agua, los cuales se sedimentaron al fondo del biodigestor. Esta situación podría haber causado que una gran parte de la materia no se degradara o lo hiciera de manera sumamente lenta.

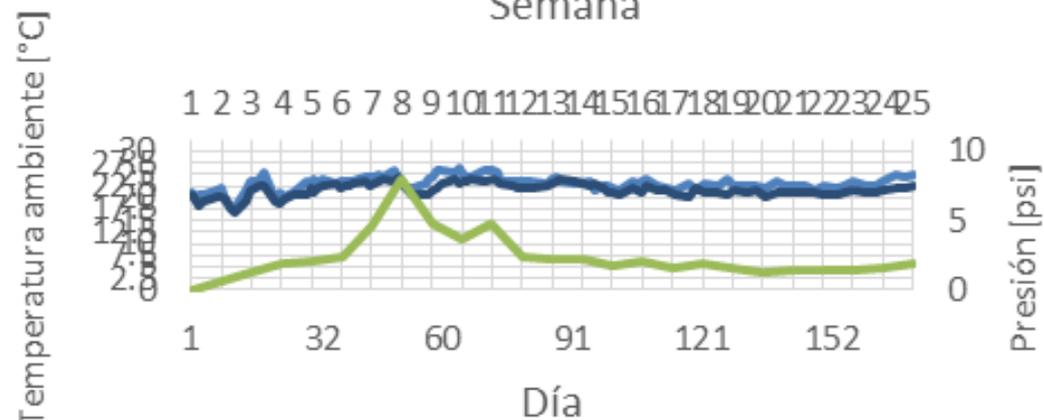


*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Efecto de la temperatura en la producción de biogás

Semana



- Temperatura ambiente
- Temperatura bio. 4
- Bio. 4

Al principio de la semana 8 hubo una disminución en la temperatura ambiental de alrededor de 3.5 °C, mientras que la temperatura del sustrato disminuyó 4 °C.

En semanas como la 16, 18, 21 y 24 se aprecian un ligero aumento en la producción de biogás con respecto a las semanas inmediatas anteriores, dichos fenómenos coinciden en tiempo con incrementos en la temperatura ambiente e interna del biodigestor.

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*

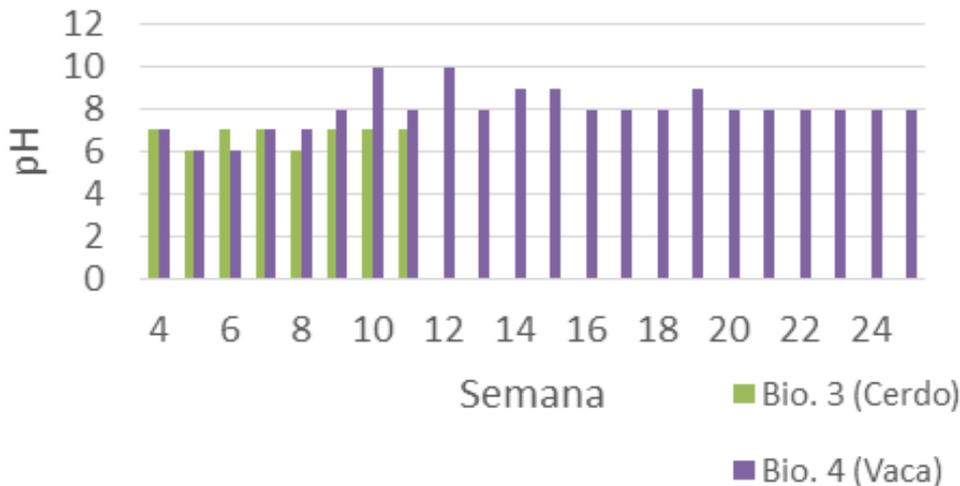
## RESULTADOS Y ANÁLISIS

El pH del sustrato de excretas de cerdo fue casi neutro.

El pH del sustrato de excretas de vaca fue alcalino, ya que desde la semana 9 y hasta la 25 se encontró con valores mayores a 7.

Estos resultados sugieren que el pH no fue un factor decisivo en la cantidad de biogás producido, pues en las semanas 11 y 12 se tuvo el pH más alcalino, pero la cantidad de biogás producido no fue el mayor.

pH del sustrato

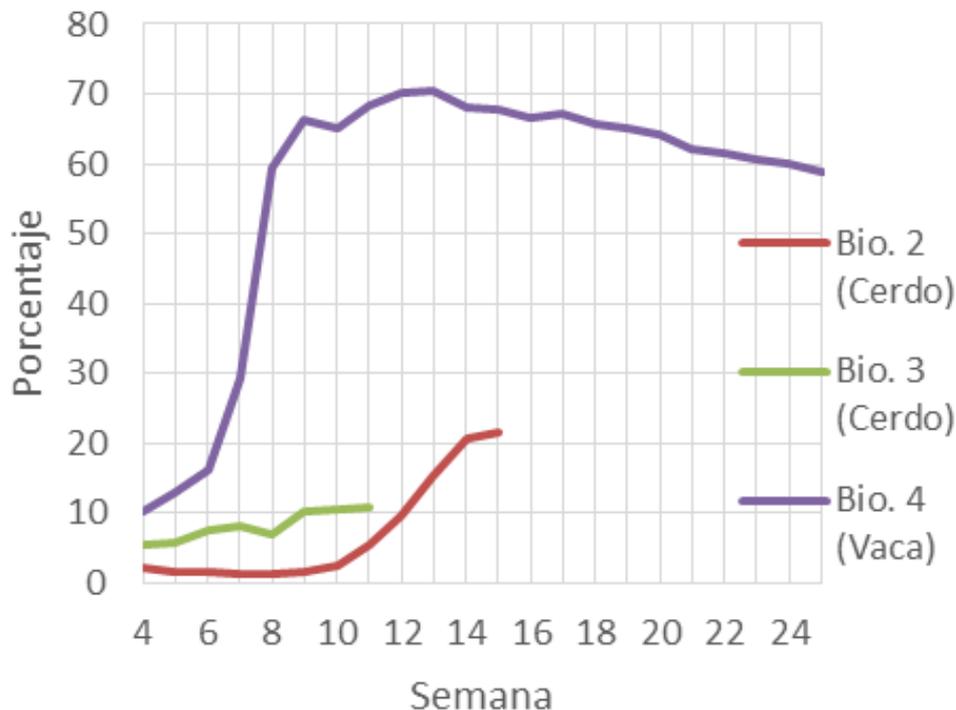


San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las excretas de vaca producen un porcentaje mayor de metano que las de cerdo, cuyo biogás apenas alcanzó el 21.49%. Cabe mencionar que en el biodigestor 2, el porcentaje de metano mantuvo una tendencia a la alza durante 6 de las 7 semanas, mientras que el biogás del biodigestor 3 presentó un porcentaje de metano relativamente constante hasta la semana 9. La muestra más representativa del biogás producido por excretas de vaca alcanzó su mayor porcentaje de carbono en la semana 13, obteniendo 70.58% de metano.

Porcentaje de metano en el biogás



San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Como un ejemplo del cálculo de biogás generado, se tomarán como base los datos recopilados para el biodigestor 4 durante la semana 13, la cual abarca del 20 al 27 de mayo de 2016, cuyo porcentaje de metano es 70.58%, la presión acumulada es 2.2 psi y la temperatura es 23.5 °C. Las masas molares del metano, dióxido de carbono y biogás producido esa semana serán:

$$M_{CH_4} = 0.01604 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times 0.7058 = 0.01132 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$
$$M_{CO_2} = 0.04401 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \times 0.29420 = 0.01295 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$
$$M = 0.01132 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} + 0.01295 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$
$$M = 0.02427 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.



## RESULTADOS Y ANÁLISIS



A continuación, la masa molar del biogás se utiliza para calcular la constante particular del biogás de la semana 13, sabiendo que la constante universal de los gases es  $R_u = 8.314 \text{ Nm/mol} \cdot \text{K}$ .

Posteriormente se determinó la densidad del biogás contenido dentro del biodigestor con ayuda de la ecuación de los gases ideales. Con este resultado se calculó la masa del biogás.

El último paso para conocer la cantidad de litros de biogás generados consiste en emplear una variante de la ecuación de densidad y que contempla la densidad del biogás a presión atmosférica como  $1.25 \text{ kg/m}^3$

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

**2016**



## RESULTADOS Y ANÁLISIS



$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{3.45602 \times 10^{-3} \text{ kg}}{1.25 \text{ kg/m}^3} = 4.17073 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V = 2.76482 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

Por lo tanto, en la semana 13 el sustrato de excretas de vaca al 50% y agua al 50% produjo:

$$V=2.76482 \text{ L}$$

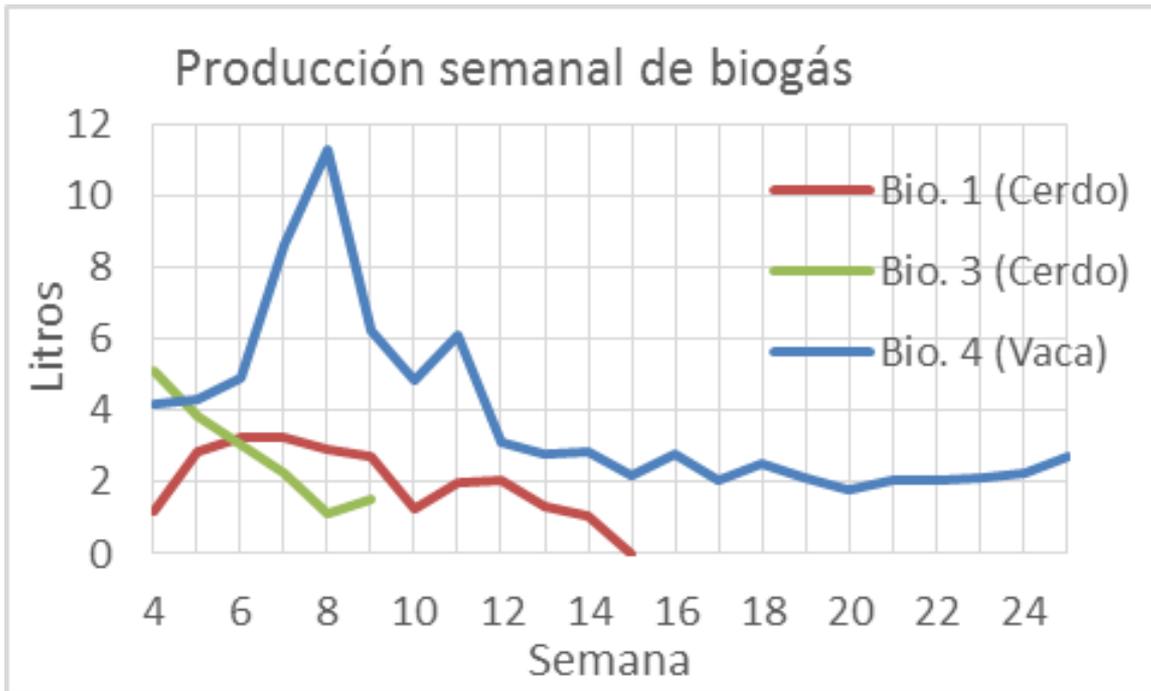
San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

**2016**

## RESULTADOS Y ANÁLISIS



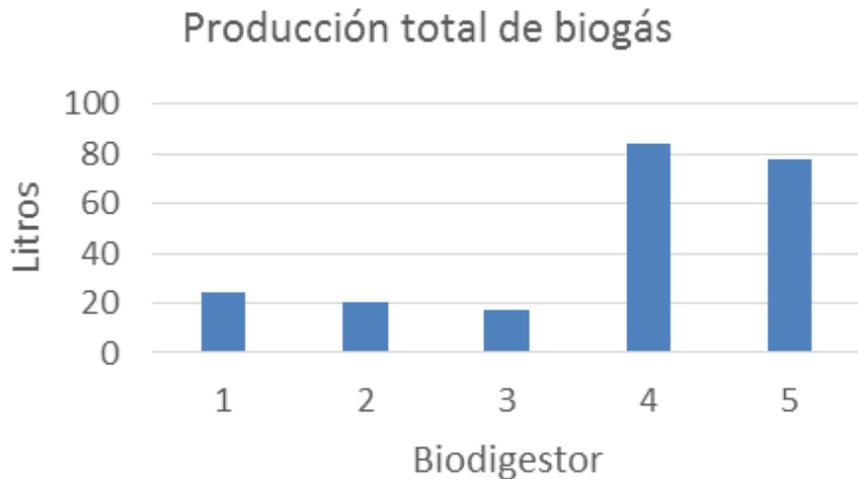
El método de cuantificación de biogás de Jesús R. González y Luis R. González se aplicó para el resto de semanas y biodigestores, a modo de obtener la producción de biogás de cada semana. En la figura se muestran los litros de biogás producidos cada semana por los biodigestores 1, 3 y 4.

San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

El sustrato del biodigestor 1 nunca superó los 3.5 litros producidos de biogás, en tanto que el del biodigestor 3 tuvo una producción máxima de 5 litros por semana, en tanto que el sustrato del biodigestor 4 alcanzó una producción máxima de 11.3 litros por semana.

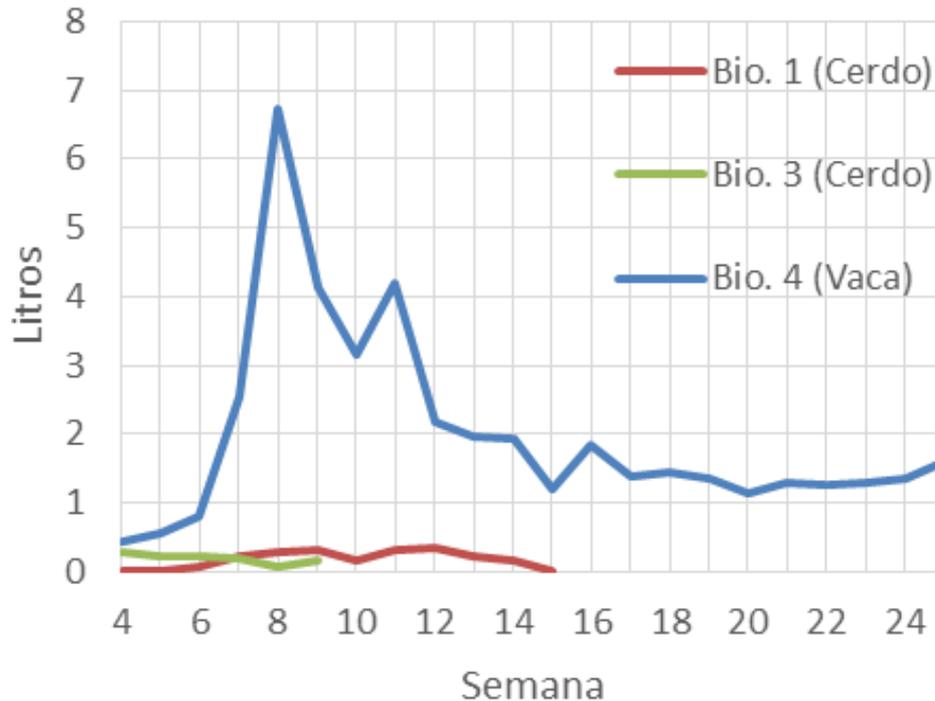
No fue posible cuantificar el biogás producido durante las 3 primeras semanas, ya que las mediciones de porcentaje de biogás comenzaron hasta la cuarta semana de experimentación.



*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Producción semanal de metano



Se observa que los sustratos de excremento de cerdo y agua no produjeron una cantidad considerable de metano, posiblemente debido a los mismos factores que causaron las bajas presiones acumuladas

San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Producción total de metano para cada sustrato analizado

Biodigestor no.	Animal productor de excretas	% de excretas	% de agua	Metano producido [L]	% máximo de metano
1	Cerdo	50	50	2.1375	17.23
2	Cerdo	66.67	33.33	0.8165	21.49
3	Cerdo	33.33	66.67	1.1486	10.86
4	Vaca	50	50	43.8043	70.58
5	Vaca	25	75	36.6201	64.94

Densidad del estiércol de vaca y cerdo empleados en la mezcla de los sustratos

Animal productor de excretas	Masa de la excreta analizada [kg]	Volumen de la excreta analizada [m <sup>3</sup> ]	Densidad de la excreta analizada [kg/m <sup>3</sup> ]
Cerdo	0.1442	0.000155	930.3226
Vaca	0.283	0.0002972	952.2207

San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Rendimiento de litros de metano por kilogramo de excreta

Biodigestor no.	% de excretas	Volumen de excretas [L]	Masa de excretas [kg]	Metano producido [L]	Metano por kg de excreta [L]
1	50	5	4.6516	2.1375	0.4595
2	66.67	6.66	6.2025	0.8165	0.1316
3	33.33	3.33	3.1008	1.1486	0.3704
4	50	5	4.7611	43.8043	9.2005
5	25	2.5	2.3806	36.6201	15.3830

Se observa que los sustratos a base de excremento ovino (biodigestores 4 y 5) tienen rendimientos ampliamente superiores a los sustratos a base de excreta porcina, las cuales no lograron superar los 0.5 L de metano/kg. En este rubro el sustrato más viable es el preparado con 25% de excretas de vaca y 75% de agua, el cual alcanzó los 15.3 L de metano/kg.

San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para plantas de generación de energía eléctrica pequeñas, con capacidades de generación menores a 150 kW, Wellinger y et al [24] proponen el uso de sistemas de generación que empleen motores Stirling, cuya eficiencia eléctrica se encuentra entre 30 y 40%, por lo cual se asumirá una eficiencia media del 35%.

Biodigestor no.	Masa de excretas [kg/día]	L / día de metano producidos	kWh / día generables	kWh / bimestre generables
1	9.4	4.3195	0.0151	0.9071
2	9.4	1.2374	0.0043	0.2599
3	9.4	3.4820	0.0122	0.7312
4	160	1472.07	5.1523	309.1351
5	160	2461.28	8.6145	516.8698

*San Juan del Río, Qro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



## CONCLUSION

Con base en los resultados experimentales de las pruebas de biogás realizadas a 3 mezclas de excretas de cerdo / agua y 2 mezclas de excretas de vaca / agua, se concluye que estas últimas son más apropiadas para implementar un sistema de generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, ya que en ambos casos la cantidad de metano producido permiten satisfacer la demanda eléctrica del rancho Los dos hermanos.

*San Juan del Río, Gro. 19 al 21 de Octubre del 2016.*



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

**2016**



## Agradecimientos

Agradecemos a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO por el apoyo recibido durante la realización de este proyecto a través de los programas UNAM-DGAPA-PAPIIT-IT104212 y UNAM-DGAPA-PAPIME-PE101912.



**Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables,  
Mantenimiento Industrial, Mecatrónica e Informática**

2016





**ECORFAN®**

**© ECORFAN-Mexico, S.C.**

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- ([www.ecorfan.org/](http://www.ecorfan.org/) booklets)