

Propuesta para el tratamiento de porcínaza generada en la granja porcícola “El Encanto” ubicada en San Juan de Rioseco

A proposal for the treatment in the use of swine manure produced at “El Encanto” swine farm located at San Juan de Rioseco

*John Alejandro Ariza Martínez¹,
Ricardo Antonio Sanabria Velandia²,
Germán López Martínez³,
Luisa Marina Gómez Torres⁴.*

Resumen

Mediante el uso de biodigestores, la porcínaza es transformada en biogás y en biofertilizante. Se presenta el diagnóstico que se realizó en la visita a la granja “El Encanto”, ubicada en el municipio de San Juan de Rioseco (Cundinamarca), donde se encontraron problemas en cuanto a la disposición de los residuos de estiércol porcino (290 kg d-1). Se muestran los resultados de la medición de producción de biogás a partir de la digestión anaeróbica llevada a cabo con la muestra de porcínaza que se recolectó en la granja y el cálculo teórico de su potencial energético, 15.85 Mcal año -1. Se plantea una alternativa para la disposición final de la porcínaza, con los respectivos beneficios y evaluación económica.

Palabras clave: *Porcínaza, digestión anaeróbica, biodigestores, metano, potencial energético.*

Abstract

This research presents the diagnosis made when visiting the farm "El Encanto", located in the municipality of San Juan de Rioseco (Cundinamarca), where some swine manure waste disposal problems were found. The results of the measurement of biogas production from the anaerobic digestion carried out with the swine manure sample collected in the farm as well as the theoretical calculation of its potential energy are shown.

Finally, using bio digesters, the swine manure can be subjected to the action of anaerobic microorganisms and transformed into biogas and bio fertilizer, which is nutrient-rich and this alternative to improve the final disposal of the produced swine in the farm is considered to put forward solutions as well as their respective benefits and economic evaluation.

Key words: *Swine manure, anaerobic digestion, bio digesters, potential energy.*

1 Estudiante de procesos industriales. Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. ricardos82@gmail.com

2 Estudiante de procesos industriales. Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. alejo4@msn.com.

3 Magister en ingeniería mecánica. Facultad de electromecánica. Profesor Asociado Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. germanlopezm@yahoo.es

4 Doctora en ingeniería química. Facultad de Procesos Industriales. Profesora Asociada Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central Lmgomez@itc.edu.co

1. Introducción

Actualmente, la industrialización y urbanización generan impactos negativos sobre el medio ambiente, principalmente la utilización de recursos renovables y no renovables, cambio en el uso de la tierra, contaminación, generación de residuos, entre otros; lo cual contribuye al deterioro y destrucción de los ecosistemas.

Por lo anterior, se hace necesario buscar alternativas y estrategias que permitan disminuir los impactos negativos hacia el medio ambiente y la comunidad en general, para reutilizar la mayor cantidad de recursos, aprovechar y disponer de la mejor manera los residuos generados y explorar y sacar provecho de otros tipos y fuentes de energía limpias y sostenibles que posibiliten nuevas vías de desarrollo, salvaguardando los recursos no renovables y el entorno.

Los desechos orgánicos de origen vegetal y animal se pueden transformar, por acción de microorganismos anaeróbicos, en una mezcla de gases denominada biogás. El biogás se compone de metano y otros compuestos como dióxido de carbono, amoníaco, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (Bidlingmaier, 2006; Soria *et al.*, 2001). En este proceso, conocido como digestión anaerobia, intervienen cuatro grupos de microorganismos diferentes. El primero consiste en una mezcla de bacterias que hidrolizan las moléculas complejas de mayor peso molecular por medio de enzimas. El segundo grupo lo llevan a cabo bacterias que transforman las moléculas hidrolizadas a ácidos volátiles (AGV). En la tercera etapa participan las bacterias acetogénicas que transforman los ácidos volátiles en acetato (Guillén-Watson & Rivas-Solano, 2012). El último grupo de bacterias son las llamadas metanogénicas acetoclásticas e hidrogenofílicas y constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo, ya que estas bacterias tienen la capacidad de convertir el

ácido acético en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) (Guillén-Watson & Rivas-Solano, 2012). Las bacterias más importantes de este último grupo son las *Methanobacterium ruminantium* y *Methanobacterium formicum*, estas bacterias se caracterizan por no tener núcleo, ni orgánulos separados por membranas (procariotas) y son un grupo muy antiguo de organismos, miembros de las arqueobacterias (Díaz-Báez, 2002).

El objetivo de esta investigación fue realizar una propuesta para la mejora de la disposición final de los residuos de porcínaza generados en la granja “El Encanto” ubicada en San Juan de Río Seco. Se realizó la determinación del volumen de metano producido a partir de la porcínaza generada, utilizando un prototipo para la medición del biogás por desplazamiento de líquido, y se compararon los datos obtenidos con los generados por el software Biodigestor Pro[®]. Adicionalmente, se realizó un dimensionamiento del biodigestor y se determinó el potencial energético del metano producido. Se espera que los resultados obtenidos constituyan un aporte para mejorar la disposición final de los residuos sólidos generados en la cría de cerdos en las granjas porcícolas, particularmente en la granja “El Encanto”.

2. Metodología

2.1. Visita a la granja

Se realizó la visita a la granja porcícola “El Encanto” ubicada en el municipio de San Juan de Rio-seco (Cundinamarca), con el fin de realizar un diagnóstico sobre el funcionamiento de la misma, se hizo énfasis en la forma en cómo se disponen los residuos sólidos generados en el proceso de crianza de los cerdos. En la visita se tuvieron en cuenta otros aspectos tales como: (a) número de cerdos para calcular teóricamente la cantidad de porcínaza producida a diario, (b) tamaño y disposición de la granja para establecer el espacio ocupado por los diferentes procesos de cría y mantenimiento de los cerdos y analizar la posibilidad de hacer una redistribución de planta, (c) terreno y

alrededores de la granja para visualizar los efectos adversos que está provocando la disposición final de los residuos sólidos generados como por ejemplo: cuerpos de agua cercanos, viviendas aledañas, cultivos circunvecinos, etc., y (e) finalmente, actividades paralelas para obtener información de posibles opciones para la utilización del biogás y del biofertilizante producidos mediante el proceso de biodigestión anaeróbica.

2.2. Alistamiento, ensamble y puesta en funcionamiento del prototipo a nivel laboratorio

En el desarrollo de esta investigación se utilizó el método por desplazamiento de líquido, ya que

esta metodología es una de las más sencillas y económicas. El prototipo consta de un baño termostático (Temperatura de 35°C) el cual está montado sobre un mueble de tres niveles en acero inoxidable que permite el ensamble y acondicionamiento de las botellas que servirán como tanques de almacenamiento para los reactores (residuo y lodo), la soda cáustica desplazada y el metano producido

En el montaje para la medición de metano se utilizaron botellas de vidrio (reactores) de 500 ml, selladas con tapón de caucho y debidamente grafadas para garantizar hermeticidad (Figura 1).

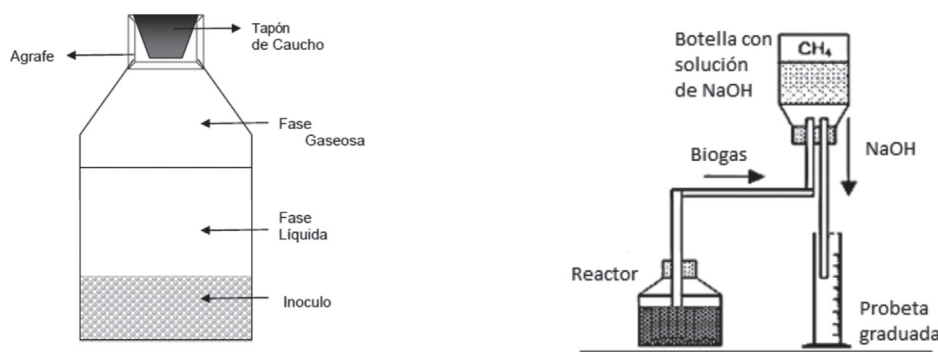


Figura 1. Botella de vidrio usada como reactor y montaje para la determinación de metano por medio del método de desplazamiento de líquido.

Fuente: Adaptado de Field & Lettinga (1987); Perez, & Cajigas (2002).

Se utilizó como inóculo un lodo floculento anaeróbico proveniente de una laguna facultativa ubicada en el Departamento de Casanare, en la cual se trataban aguas residuales. Como residuo para el estudio se utilizó porcínaza, obtenida de la granja "El Encanto", ubicada en la población de San Juan de Rioseco. La carga ensayada en los reactores fue de 2.5 g DQO del residuo /g SSV del lodo anaeróbico.

Se midió la producción de metano por el método de desplazamiento de líquido (Figura 1). Como sustancia desplazante se utilizó hidróxido de sodio

(NaOH), por su propiedad de reaccionar con el dióxido de carbono (CO₂) presente en el biogás, permitiendo así una medición más aproximada del volumen de metano producido (Chernicharo, 1997).

El proceso de pesaje se realizó diariamente, desde el 9 de Mayo hasta el 16 de Junio de 2017 (39 días). También se realizaron los cálculos para determinar el potencial energético del metano producido en el prototipo a nivel laboratorio y de igual manera se hizo la proyección aplicando dichos cálculos a la cantidad de porcínaza generada en la granja.

2.3. Dimensionamiento del biodigestor y Evaluación económica

Con ayuda del software Biodigestor Pro®, programa para el dimensionamiento y diseño de biodigestores domésticos e industriales, plantas de biogás, se realizaron los cálculos para el dimensionamiento del biodigestor para la granja y toda la evaluación económica de lo que representaría dicha inversión para los dueños de la misma.

3. Resultados y análisis

Diagnóstico inicial

La granja se encuentra en zona rural de San Juan de Rio Seco, y es la más grande y activa con la que cuenta el municipio en la actualidad, sus principales clientes son empresas dedicadas a la fabricación de lechona. Actualmente cuenta con 42 cerdos distribuidos así: (a) 3 machos para monta, (b) 27 hembras para cría y (c) 2 crías (aproximadamente de 2 meses). La granja cuenta también con una pequeña plantación de plátano “cachaco”, para consumo propio, y dentro del terreno se encuentra la vivienda de los dueños.

La granja se divide básicamente en 4 áreas diferenciadas: (a) Corrales de las hembras, (b) Corrales de los machos, (c) Corrales de las crías, (d) Área de partos.

El proceso de la granja se resume en lo siguiente: cuando la hembra entra en el periodo de celo es llevada al corral del cerdo para la respectiva monta y luego es dirigida a una de las celdas en el área de partos para que inicie todo el proceso de gestación 114 días tiempo durante el cual permanece en el área de partos (Figura 2).

Al momento del parto una cerda tiene al menos 10 lechones. Las crías permanecen, un mes en la granja, por su alta demanda. Cuando nace un macho de buenas características se deja en la granja para criarlo y convertirlo en un futuro semental.

Se evidenció en la visita que la disposición final de la porcina se hace de dos maneras, así: (a) es

almacenada en unas bateas hechas con ladrillo y a medida que se seca es arrojada en un pequeño cuerpo de agua que hay cerca de la plantación de plátano y (b) se riega en los corrales donde dejan las crías después del destete.

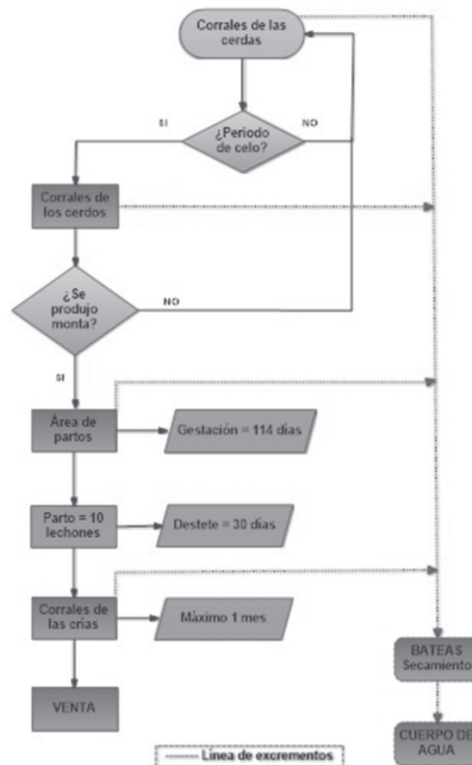


Figura 2. Diagrama de proceso granja “El Encanto”.

La cantidad de porcina producida depende del tipo de comida que se les proporcione a los cerdos, en la granja utilizan 3 marcas: Soya, Intelcol y Cointegral. El cerdo aprovecha tan solo el 40% de nutrientes que le brinda el concentrado, por lo que la porcina es aun contiene una gran cantidad de micro y macronutrientes que pueden ser aprovechados.

En promedio cada animal adulto produce 9,1 kg de excrementos al día, lo que significa que son 273 kg de excrementos producidos por los cerdos adultos, más lo generado por los lechones (17 kg día⁻¹), esto representaría diariamente 290 kg de estiércol, y por mes 8.700 kg. La cantidad de porcina es considerable y su disposición es deficiente, ya que se genera contaminación y se

desaprovechan las ventajas de la porcina (económicas y energéticas).

Medición de biogás en el prototipo

Los resultados de la producción acumulada de metano se presentan como el promedio de la producción en los frascos (reactores) tratamiento (residuo y lodo) y control (lodo) (Figura 3).

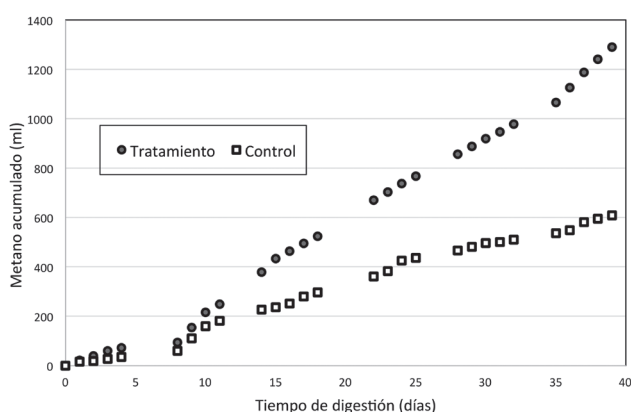


Figura 3. Producción de metano acumulada para el tratamiento y el control en el ensayo realizado.

Tabla 1. Resumen tasa máxima de biodegradabilidad

Carga	Pendiente mg/l DQO-CH ₄ •d	SSV mg /l	Tasa máxima (mgDQOCH ₄ /mg SSV •d)	Tiempo de degradación (d)
2.5	71.178	2000	0.0356	28.09

Se tiene en cuenta que los resultados de la tabla 1 corresponden a la producción de metano en ml convertidos a DQO-CH₄, sabiendo que 1 g de DQO equivale a 0.52 ml CH₄.

Con la carga de 2.5 g DQO/g SSV la tasa máxima de biodegradabilidad es de 0.036 y la producción máxima de metano se daría a los 28 días. De acuerdo a los registros de producción de metano (Figura 3), observamos que hay un tiempo de adaptación del lodo de aproximadamente 10 días, por lo que el tiempo máximo de degradación de la biomasa coincide con los 28 días de la tabla 1, ya que a los 39 días se les descuentan los

El lodo necesita un tiempo inicial de adaptación de aproximadamente diez días para iniciar el proceso de degradación anaeróbica. Para la carga ensayada de 2.5 g DQO/g SSV, se presentó una acumulación de metano relativamente buena, esto sugiere que las condiciones del ensayo fueron las adecuadas para la digestión anaeróbica. La producción de metano del lodo fue relativamente alta (mayor a 100 ml) lo que sugiere la necesidad de realizar una digestión previa del lodo para disminuir la materia orgánica presente en éste y evitar una contribución a la producción de metano.

Tasa máxima de biodegradabilidad

Por definición la tasa máxima de biodegradabilidad corresponde a la pendiente máxima de la curva de producción neta de metano, en términos de DQO (mg/L DQO-CH₄/día) por los SSV (mg/l) del reactor. De esta manera la tasa máxima se expresa en (mg DQO-CH₄/mg SSV•d) para la carga ensayada (Tabla 1).

10 días correspondientes al arranque del proceso anaeróbico.

Potencial energético teórico la biomasa porcina

Para el cálculo teórico del potencial energético de la porcina se utilizó la siguiente fórmula:

$$PE_{BP} = MS * Bo * PCI_{CH_4}$$

Donde:

PE_{BP} : potencial energético del estiércol porcino (kcal/día)

MS: materia seca (kg MS/cabeza-día)

Bo: producción de biogás (m³/kg SV)

PCI_{CH₄}: poder calorífico inferior del metano (kcal/m³)

Los datos utilizados en la resolución de la fórmula fueron los siguientes:

PE_{BP}: Valor a calcular del potencial energético de la porcinaza

MS = 19,12 kg MS/día = 6883,2 kg MS/año (es lo que producen los 32 cerdos)

Bo: 0,27 m³/kg MS (producción de metano en base seca)

PCI_{CH₄} = 8900 kcal/m³

Reemplazando los datos anteriores en la fórmula:

$$PE_{BP} = \frac{19,12 \text{ kg MS}}{\text{día}} \times \frac{0,27 \text{ m}^3}{\text{kg MS}} \times 8.900 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$PE_{BP} = 45.945,36 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} \cong 46 \frac{\text{Mcal}}{\text{día}} \cong 16,54 \frac{\text{Mcal}}{\text{año}} \quad (1)$$

Experimentalmente, en el ensayo de degradación anaeróbica, se encontró que en 39 días se produjeron 682 ml CH₄ por 40 g de porcinaza. A partir de esta información se puede calcular también el potencial energético de la porcinaza, así:

$$PE_{BP} = \frac{682 \text{ mL CH}_4}{40 \text{ g porcinaza}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1'000.000 \text{ mL}} \times 1000 \frac{\text{g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{290 \text{ kg porcinaza}}{\text{día}} \times \frac{8.900 \text{ kcal}}{\text{m}^3}$$

$$PE_{BP} = 44.006,05 \frac{\text{Kcal}}{\text{día}} = 44 \frac{\text{Mcal}}{\text{día}} = 15,84 \frac{\text{Mcal}}{\text{año}} \quad (2)$$

Los valores calculados anteriormente (1) y (2) son muy similares. Con esto se comprueba que la utilización del software Biodigestor Pro[®] (Tabla 2) es bastante confiable para los cálculos requeridos ya que prácticamente coincidieron con los datos obtenidos experimentalmente en el prototipo a nivel laboratorio

Tabla 2. Equivalencias energéticas del biogás. Fuente: Software Biodigestor Pro[®]

Biogás (Nm ³)	(Por día)	(Por año)
	8	2.876
BTU	180.813	65.996.672
Mega Joule	191	69.630
M.cal	46	15.84
MWhe	0	5
HP.h	71	25.983
BHP	5	1.972
Ton TNT	0	17

Con la cantidad de biogás producido se puede calcular también el potencial energético a nivel eléctrico. 1 m³ de biogás (60% de CH₄ y 40% de CO₂) tiene una energía de 6,06 kWh. Por lo general, la eficiencia se ve afectada al convertirla, por lo que se suele utilizar un 30% para energía eléctrica y un 50% para la energía térmica (Díaz-Piñón & Caldoza-Rafael, 2008).

$$\text{Energía eléctrica esperada} = 5,12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{6,06 \text{ kWh}}{1 \text{ m}^3} \times 0,30 = 9,31 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} = 279,3 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

$$\begin{aligned} \text{Energía térmica esperada} &= 5,12 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{6,06 \text{ kWh}}{1 \text{ m}^3} \times 0,50 = 15,51 \frac{\text{kWh}}{\text{día}} \\ &= 465,3 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \end{aligned}$$

Si un hogar consume en promedio 200 kWh al mes, la granja estaría frente a una gran oportunidad de generación de energía eléctrica.

El otro punto de comparación que puede realizarse es respecto al gas propano. 1 m³ de biogás equivale a 0,25 m³ propano (Sogari, 2003; Walsh et al, 1989). La granja "El Encanto" cuenta con dos estufas y dichas estufas consumen un cilindro de gas de 40 lb cada 15 días, el valor de cada cilindro es de \$50.000 lo que significa que la inversión mensual por ese concepto es de \$100.000 al mes.

Se debe tener en cuenta que 1 kg de propano equivale a 13,39 kWh, por lo tanto las 40 lb que contiene cada cilindro corresponden a 18,14 kg de gas y a su vez equivalen a 242,9 kWh. Si tenemos

en cuenta el consumo promedio de un hogar, con el cilindro de propano tendríamos cubierto dicho consumo de manera inmediata; esto se debe a que el propano tiene mayor poder energético por unidad de volumen respecto al metano, 22.000 kcal/m³ (propano) frente a 8.900 kcal/m³ (metano).

La granja puede continuar con el uso del propano por sus mejores características energéticas; sin embargo, como la producción de biogás sería continua (siempre habría porcinaza para descomponer), el dueño no se preocuparía por el abastecimiento de gas en su cocina.

Alternativa de solución para la granja

Para mejorar la disposición final a los residuos sólidos generados en la granja, se propone la construcción e implementación de un biodigestor, para almacenar la porcinaza producida durante el proceso y a su vez el espacio y condiciones necesarias para que se lleva a cabo la digestión anaeróbica y de esta manera obtener biogás (para usar en la propia granja) y fertilizante orgánico (para comercializar en el municipio).

Con los datos que se le ingresaron al software Biodigestor Pro[®], se dimensionó un biodigestor tipo laguna, el software calculó la capacidad del mismo y los componentes complementarios del montaje (Tabla 2), los planos para la construcción (Figura 4), y la evaluación económica del proyecto (presupuesto y análisis costo-beneficio) (Tabla 3 y 4).

Tabla 3. Dimensionamiento de estructuras mediante el uso del Software Biodigestor Pro[®]

Biodigestor	
Unidades requeridas:	1
Tipo:	Bajo tierra
Material:	Membrana
Volumen total requerido (m ³):	9
Volumen de cada unidad: (m ³)	9
Largo (m)	12,30
Ancho (m)	8,20
Profundidad (m)	4,00
Tiempo de retención hidráulica (d)	31
Carga orgánica volumétrica kg/m ³ d	1,67
Tanque de alimentación	
Volumen (m ³)	0,29
Largo (m)	0,55
Ancho (m)	0,55
Profundidad (m)	1,20
Tanque de descarga	
Volumen (m ³)	0,87
Largo (m)	1,04
Ancho (m)	0,70
Profundidad (m)	1,20
Lecho de secado	
Área (m ²)	0.17
Largo (m)	0.71
Ancho (m)	0.47
Profundidad (m)	0.50

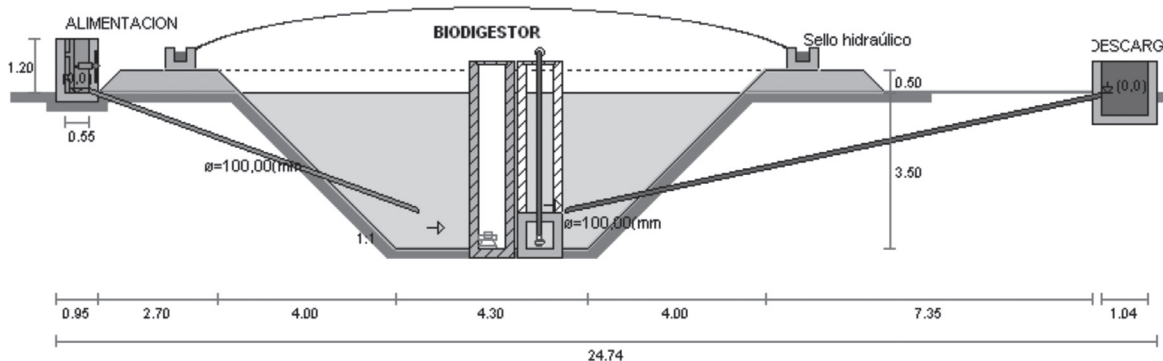


Figura 4. Plano de las estructuras que conforman el proceso de biodigestión en la granja porcícola.

Tabla 4. Presupuesto biodigestor tipo laguna.Fuente: Software Biodigestor Pro[®]

Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Precio Total
Excavación y Construcción de Resante	m ³	186	\$ 5.580.000	\$ 5.580.000
Hormigón Armado	m ³	27	\$ 20.250.000	\$ 20.250.000
Membrana EPDM para Cubierta	m ²	192	\$ 11.520.000	\$ 11.520.000
Geomembrana HDPE para Fondo de Laguna	m ²	273	\$ 12.285.000	\$ 12.285.000
Tuberías de PE Alimentación y Descarga	m	32	\$ 3.072.000	\$ 3.072.000
Tuberías de Acero Captación de Biogas	m	82	\$ 8.610.000	\$ 8.610.000
Accesorios para Tuberías (Incluye Válvulas de Cierre)	Global	16	\$ 1.680.000	\$ 1.680.000
Bombas de Succión de Lodos	Unidad	2	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
Pernos y Anclajes para Sujetar la Membrana	m	41	\$ 1.845.000	\$ 1.845.000
Válvulas de Seguridad y Control	Global	1	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
Sistema de Control de Procesos	Global	1	15.000 000	15.000 000
Instalaciones Eléctricas y Tableros	Global	1	\$ 27.000.000	\$ 27.000.000
Exteriores (Tuberías. Cajas de Válvulas. Arquetas, etc.)	%	Varios	\$ 5.067.000	\$ 5.067.000
Costos Aproximados de Construcción para un Biodigestor				\$ 118.209.000

Tabla 5. Análisis costo-beneficio del proyecto.Fuente: Software Biodigestor Pro[®]

Resumen de ingresos	
Fertilizante	\$8.160.000
Bonos de carbono CERS	-
Suma de ingresos	\$8.160.000
Rendimiento Anual: Ingresos-Inversión	\$110.049.000
Tasa de retorno	0.93

Se puede observar que según el programa la construcción y puesta en funcionamiento del biodigestor tendría un costo de \$118'209.000 (Tabla 4) un valor muy elevado para la realidad económica de la granja "El Encanto", esto debido a los materiales usados y al sistema eléctrico y de control. También se visualiza que las gananc

cias por año por la venta del fertilizante serian de \$8'160.000, lo que representa que de entrada hay un endeudamiento del 93% (Tabla 5). Además, al calcular la rentabilidad del proyecto se encuentra que sería muy baja respecto al monto de la inversión y que el periodo de la inversión sería de aproximadamente 13,93 años.

4. Conclusiones

La porcicultura se ha convertido en una actividad económica muy común en varios departamentos del territorio nacional gracias a su sencillez y la buena rentabilidad que produce.

Por lo expuesto en este trabajo, la utilización de biodigestores en las granjas porcícolas no solo las convertiría en más productivas, sino que se lograría un valioso aporte al sostenimiento del medio ambiente sumado al hecho de que se generarían otro tipo de beneficios para los poricultores.

Se pudo evidenciar que es posible generar considerables cantidades de energía a partir de la porcinaza (al igual que otro tipo de residuos orgánicos, urbanos y agrícolas), permitiendo reemplazar un porcentaje importante de los combustibles fósiles utilizados actualmente para la generación de energía. La cantidad de energía que se genera es aprovechada en la misma granja.

Se beneficia la comunidad del municipio al poder contar con un fertilizante rico en nutrientes para los diferentes cultivos existentes.

La técnica de medición de metano por desplazamiento de líquido, en los ensayos de biodegradabilidad anaerobia, constituye una herramienta apropiada y confiable debido a su fácil implementación y a la alta reproducibilidad de los datos que se obtienen de las réplicas de tratamiento y control.

5. Referencias Bibliográficas

Bidlingmaier, W. (2006). Fifth ORBIT Conference probes anaerobic digestion. *BioCycle Journal of Composting and Organics Recycling*, 47(9), 42-49.

Chernicharo, C. A. D. L. (1997). *Reactores anaeróbios* (Vol. 5). UFMG.

Díaz-Báez, M. C., Espitia Vargas, S. E., & Molina Pérez, F. (2002). *Digestión Anaerobia: Una aproximación a la tecnología*. Universidad Nacional de Colombia.

Díaz-Piñón, M., & Caldoza-Rafael, J. M. (2008). *Biodigestores, biogás y bioabonos: un sistema tecnológico limpio*. Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), La Habana.

Field, J. A., & Lettinga, G. (1987). The methanogenic toxicity and anaerobic degradability of a hydrolyzable tannin. *Water Research*, 21(3), 367-374.

Guillén-Watson, R., & Rivas-Solano, O. (2012). Producción de metano a partir de desechos orgánicos generados en el Tecnológico de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 25(2), 73-79.

Perez, A., & Cajigas, A. (2002). Corrección de pH en reactores anaerobios tratando aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali*.

Sogari, N. (2003). Cálculo de la producción de metano generado por distintos restos orgánicos. *Universidad Nacional Del Nordeste, Argentina. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*.

Soria Fregoso, M. D. J., Ferrera Cerrato, R., Etchevers Barra, J., Alcántar González, G., Trinidad Santos, J., Borges Gómez, L., & Pereyda Pérez, G. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 19(4).

Walsh, J. L., Ross, C. C., Smith, M. S., & Harper, S. R. (1989). Utilization of biogas. *Biomass*, 20(3-4), 277-290.

