

Biogás: energía recuperable

► Análisis energético y económico de su potencial en fincas lecheras



Biodigestor tubular de PVC.

Ing. Joaquín Víquez Arias
 Coordinador Programa
 Agroambiental
 Cooperativa de Productores de
 Leche Dos Pinos R.L.
 Tel. 8923-7412
 joviquez@dospinos.com

La tecnología de los biodigestores, digestores anaeróbicos, reactores anaeróbicos o sistemas de biogás, ha tomado mucha popularidad en la última década. La fuerte influencia y dependencia de fuentes energéticas, provenientes del petróleo, la preocupación de la población civil y del Estado por el calentamiento global, así como la

contaminación de las fuentes de agua, han sido los pilares de su notoriedad.

El biodigestor, como popularmente se conoce, ofrece soluciones sencillas a los problemas mencionados anteriormente. Por un lado, brinda un sistema seleccionado, por excelencia, para el tratamiento de aguas residuales (aguas verdes), previo a su utilización como fertilizante en los potreros. Por otra parte, durante el proceso de descomposición, genera un gas, con altos contenidos de metano, lo que posibilita su uso como fuente de energía. De esta manera, se puede

solventar, proporcionalmente, el problema del calentamiento global, al recircular el carbono en el sistema de producción lechero.

El presente artículo tiene como objetivo hacer un análisis energético y económico del uso del biodigestor, para utilizar el biogás generado en la calefacción de agua y generación eléctrica, para la operación de la finca.

Principio básico de un sistema de biodigestión

Un biodigestor es la aplicación tecnológica de la digestión anaeróbica. La misma consiste en una descomposición metabólica de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, que involucra un consorcio de diferentes tipos de microorganismos, para transformar la materia orgánica en biogás (Wilkie, 2005).

Dada la naturaleza del proceso, a lo largo de la historia, éste ha servido como un sistema de descontaminación o tratamiento de aguas residuales. La materia orgánica, al convertirse en un gas, se separa del agua residual, mejorando así los parámetros de calidad de agua (Lansing y otros, 2008).

Además de la remoción de materia orgánica del agua, también reduce los malos olores, controla patógenos, conserva los nutrientes en el agua verde (efluentes es un abono líquido de alta calidad) y disminuye gases de efecto invernadero (Wilkie, 2005).

El biodigestor puede variar

en su diseño y fabricación. En Costa Rica, el más común ha sido el de bolsa; conocido como "salchicha", que consiste en una bolsa tubular de PVC o polietileno, colocado dentro de una fosa en tierra o concreto, con una entrada y salida en los extremos. El sistema funciona bajo el principio de flujo continuo y días de retención (Viquez y otros, 2008).

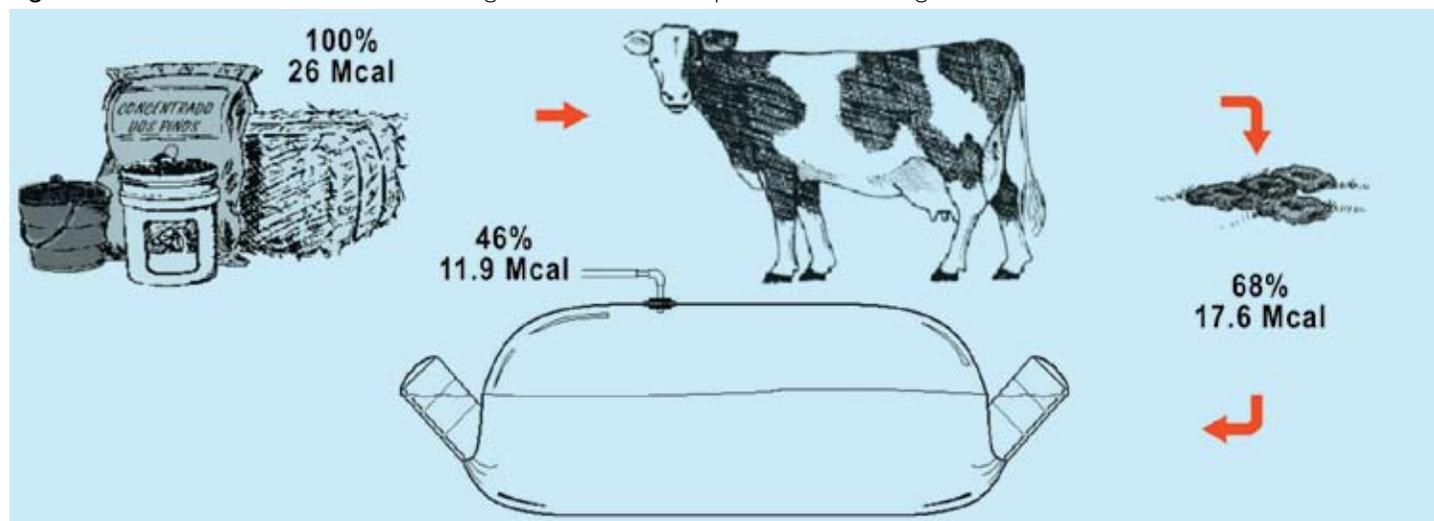
¿Cuánta energía se produce?

Según la primera ley de termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, simplemente sufre transformaciones. El potencial de aprovechamiento de la excreta para producir biogás, está en que la excreta contiene gran parte de la energía consumida por el animal.

El biogás, por su contenido de metano, contiene energía. Un metro cúbico o 1000 L de biogás con 65% de metano, equivale energéticamente a 6,41 kWh-l, (kilo watt hora-l), o bien 0,63 L de gasolina, o 1,61 kg de leña seca (Walsh, 1988).

El proceso inicia con el consumo de energía de una vaca lechera. Este depende de su peso vivo, de la producción de leche y del sistema de producción en que se encuentre (pastoreo, estabulado o semiestabulado). Tomando como ejemplo un animal Holstein de 550 kg, que produce 25 kg de leche/día, se estima que su consumo energético (alimentación) es de 26 Mcal/día (ENL/día) (Jurgens, 2002). (Figura 1).

Figura I. Dinámica del movimiento de energía en un sistema de producción de biogás.



Como se mencionó anteriormente, en el proceso natural de la digestión de un animal, la energía consumida es utilizada para producción y mantenimiento, mientras que una alta proporción es excretada en forma de boñiga, orina y flatulencias (Jurgens, 2002).

El valor energético de la excreta ronda los 5.770 BTU/lb ST (British Thermal Units/Sólidos Totales) (0,4 Mcal/excreta fresca con 12% ST) (Lineberry, 2007). En otras palabras, utilizando la misma vaca Holstein del ejemplo anterior y un 8% de excreción (ver artículo siguiente), según su peso vivo; se estima que el 68% de la energía consumida, termina en la excreta.

Sería un error pensar que toda esa energía en la excreta es recuperable, por dos razones: 1) el proceso de biodigestión no extrae el 100% de la materia orgánica en la excreta y 2) depende del sistema de producción, no toda la excreta es utilizada para la producción de biogás.



Llama de biogás en calentador de agua

Ahora bien, la pregunta es ¿cuánta energía se produce? En un biodigestor, la producción de biogás es un proceso continuo que aumenta y disminuye, minuto a minuto, debido a factores tales como la temperatura ambiental, tipo de biodigestor, variabilidad de alimentación (cantidad y calidad), días de retención, utilización de agua de lavado, entre otros (Meynel, 1978).

No existe manera de calcular exactamente la producción de biogás, debido a que el proceso de digestión anaeróbica es muy complejo (House, 1978).

Sin embargo, a lo largo de la historia se han realizado estimaciones, basadas por ejemplo en el crecimiento de la población microbiana y la velocidad de reacciones bioquí-

micas (House, 1978), como también en la medición de producción de biogás proponiendo "índices" de producción acordes a las características propias de cada material. En el caso de la excreta, algunos autores recomiendan de utilizar 0,35 m³ de CH₄ (metano)/kg de DQO (demanda química de oxígeno) que se destruye en el biodigestor (Umaña, 1985).

Por tanto, utilizando como ejemplo una finca de 45 animales, de 450 kg de peso vivo, que excretan el 8% de su peso vivo por día y se espera utilizar toda la excreta de las 8 horas que permanecen en los corrales de espera y sala de ordeño. Adicionalmente, se asume que la excreta tiene 120.000 mg/L de DQO y utilizando 0,35m³ de metano/kg de DQO, como índice de producción de biogás, además de una eficiencia del biodigestor de 80%; se esperaría una producción de biogás de **27,91 m³ (65% CH₄) al día**; energéticamente hablando esto equivale a 11,4 L gasolina.

La fórmula para calcularlo es:

$$\frac{PVT \times 8\% \times \text{horas establo} \times [DQO \text{ mg/L}] \times 0,35 \text{ (constante)} \times E_{fBiod}}{24 \text{ horas} \times 1000.000 \times 65\%} = \text{m}^3 \text{ biogás (65\% CH}_4\text{) / día}$$

PVT: Peso vivo total, equivale a número de animales x peso vivo promedio

Horas establo: Horas en que los animales permanecen en los corrales de espera, alimentación, sala de ordeño, entre otros.

[DQO mg/L]: Concentración de DQO expresada en mg/L

EfBiod: Eficiencia del biodigestor (depende del sistema a utilizar), expresado en %.

Tal y como se mencionó anteriormente, la fórmula presentada es una **estimación**, que servirá de guía para comprender el potencial de energía en la finca; sin embargo, no es exacta; podrán haber variaciones de $\pm 25\%$ diariamente. Adicionalmente, los sistemas de biogás de bolsa, por tener baja dinámica (no agitación) acumulan sólidos, que pueden aumentar la producción de biogás con el tiempo.

Alternativas para usos del biogás

• Generación de agua caliente

Está claro que en fincas lecheras es sumamente sencillo lograr recuperar la energía, invertida en la alimentación del animal, para sustituirla por el combustible de la finca.

Según el departamento de Calidad de Leche de Dos Pinos, lo más recomendable para el lavado del equipo de ordeño es utilizar la concentración adecuada y calidad de los productos de limpieza y del agua, así como la temperatura de la misma.

Se estima que en una finca, para calentar entre 150 y 200 L de agua/día (65-70 °C), con un equipo de gas propano, puede representar alrededor de \$1,07 diarios, \$28,17 mensuales y \$337,99 anuales; sin considerar posibles aumentos¹.

¹ Precio LPG: Tropigás \$10,14/25 lbs



Agua caliente con biogás

Fórmula para conocer volumen de biogás para calentar agua.

$$V_b = \frac{S V_w \Delta T}{H_v E}$$

V_b= Volumen de biogás (litros)

H_v: Energía en el biogás (cal/L)

E: Eficiencia de conversión de energía en calor

S: Calor específico del agua (1 cal °C-1 g-1)

V_w: Volumen de agua a calentar (litros)

ΔT: Temperatura inicial del agua – temperatura deseada (°C) (House, 1978).

Mientras que con un equipo de electricidad, se podría gastar alrededor de \$2,86 diarios, \$87,11 mensuales y \$1045,37 anuales.

Utilizando biogás, con un contenido de metano de 65% y el interés de calentar los mismos 200 L, se estima necesitar 3,2 m³ de biogás.

Con el ejemplo de producción de biogás anterior (27,9m³ de biogás/día), se estaría utilizando solamente el **12%** de la producción total para calentamiento de agua. El ahorro potencial anual, según el caso, se presenta en el Cuadro 1.

Los equipos que utilizan LPG (propano) deben transformar-

se para usar el biogás, cuya posibilidad tiene que estudiarse en cada finca. La construcción de calentadores de biogás caseros es sencilla y de bajo costo. El costo del biodigestor (fosa, bolsa y accesorios) para una finca de 45 animales, de 450 kg PV (Peso vivo), que permanecen 8 horas al día en los corrales; se estima en \$1.720 (fabricado a partir de PVC; larga duración y facilidad de reparación). **En algunos casos, la inversión se recupera en menos de tres años.**

• Generación de energía

La generación de electricidad, utilizando biogás, es una posibilidad real y altamente documentada. En Estados Unidos, pero en especial Europa, han avanzado a un paso inimaginable. Es tanto así, que los Municipios, como el de Kristianstad en Suecia, llevan más de 11 años generando biogás, a gran

Cuadro 1. Estimación del ahorro potencial anual con dos tipos de energía (eléctrica y propano)

Caso	Ahorro anual	Solución
Uso de agua caliente con electricidad	\$ 1.045	Sustituir la energía eléctrica por biogás
Uso de agua caliente con propano (LPG)	\$ 337	Sustituir gas propano (LPG) por biogás



Generador eléctrico Generac®

escala, para mover más de 200 vehículos livianos y 22 buses utilizando biometano (biogás refinado - 97% metano y sin impurezas).

La utilización de motores de combustión interna con biogás lleva más de 60 años. (Walsh, 1988). El objetivo de generación de electricidad de biogás, es aprovechar el gas restante (o total) para sustituir energía eléctrica de la compañía suministradora, lo que representa un ahorro inmediato. Principalmente, se busca la generación durante las horas de ordeño, con la posibilidad de mover el equipo (bomba de vacío) y los sistemas de refrigeración de la leche.

Según Walsh, 1988 y CENPE – ICE, comentan que el tamaño de la planta (motor-generador eléctrico) dependerá mucho de cada finca. Será necesario realizar un levantamiento eléctrico, que consiste en tomar datos como la potencia, voltaje, corriente y tiempo de utilización de cada equipo que se pretende mover con el biogás. Esto ayudará a dimensionar el tamaño del equipo eléctrico y analizar si la disponibilidad de biogás es suficiente y económicamente rentable.

La eficiencia de la planta gene-

rador está totalmente ligada a la rentabilidad del sistema; entre menos eficiente sea para convertir la energía biogás en energía eléctrica, menos kWh⁻¹ se producen y se verán afectados directamente los ahorros en electricidad. Las grandes turbinas presentan eficiencias de 34-40%, mientras que los pequeños generadores pueden rondar en un 25% (Cuéllar y Webber, 2008).

1 m³ de biogás, con 65% metano (lo común en biogás generado a partir de excretas de bovinos (Viquez y otros, 2007)) tiene un valor energético neto de 6,14 kWh⁻¹/m³ (592 BTU/ft³). Tomando como base una eficiencia entre el 20 y el 30%, se estima obtener 1,23 a 1,84 kWh⁻¹, por cada m³ de biogás producido en la finca.

Manteniendo el ejemplo de 45 vacas (27,91 m³ de biogás al día), menos 3,2 m³ utilizados para calentar agua, se tendría 24,71 m³ disponibles para la generación de electricidad. Utilizando 1,54 kWh⁻¹ por m³ de biogás (25% eficiencia) x 24,71 m³ de biogás, se podría generar **38,05 kWh⁻¹/día**.

Pensando en un generador de 25 kW de potencia (podría suplir ordeño y otros imple-

mentos), se estima que podría generar 1,5 horas al día (38,05 kWh⁻¹ / 25 kW); esto puede representar fácilmente un ordeño al día.

La generación de 38,05 kWh⁻¹/día, equivale a \$2.400 anuales de ahorros en electricidad. Ahora bien, el costo del generador puede variar significativamente, si es gasolina, diesel o gas; los precios rondan entre los \$7.000 a los \$20.000.

La cantidad de energía perdida por fricción, radiación, entre otras, puede ser de más del 80% de la energía total, por lo cual se puede analizar la posibilidad de recuperarla, calentando agua, entre otros usos. También es una opción, emplear la radiación solar para el calentamiento de agua y un 100% del biogás para la generación eléctrica (House, 1978).

Conclusiones

- La implementación de la tecnología de digestión anaeróbica, popularmente conocida como biodigestor, es una posibilidad en cualquier finca, indistintamente del tamaño.
- Como se ha demostrado con el ejemplo de un hato de 45 animales, es factible sustituir parcialmente la energía eléctrica, mediante el tratamiento de las excretas, utilizando un biodigestor.
- El biodigestor no solamente extrae la energía de la excreta, sino que además permite un tratamiento a las aguas residuales, para eliminar malos olores, patógenos y semillas de malezas.
- Cada sistema debe ser diseñado a la medida de la finca, considerando sus necesidades energéticas, legales y ambientales, con respecto a las aguas residuales.

Bibliografía

Cuéllar, A.; Webber, M. 2008. Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas (en línea). Texas, EEUU. Consultado 9 may. 2009. Disponible en: http://www.iop.org/EJ/article/1748-9326/3/3/034002/er18_3_034002.html.

House, D. 1978. The complete biogas handbook. USA, D.House. 403 p.

Jurgens, M. 2002. Animal feeding and nutrition. 9. ed. Estados Unidos, Iowa State University. 588 p.

Lansing, S.; Viquez, J.; Martínez, H.; Botero, R.; Martín, J. 2008. Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system. USA, Ecological Engineering. 17 p.

Lineberry, S. 2007. Distributed vs. centralized electricity generation. Michigan, EEUU, Michigan Alternative & Renewable Energy+Center. Grand Valley State University. (Presentación en Congreso Biocycle 2007).

Meynel, P. 1978. Methane: planning a digester. New York, Schocken Books. 150 p.

Umaña, A. 1985. Diseño y construcción de biodigestores: tratamiento anaeróbico de desechos agroindustriales factibilidad técnica y beneficios ambientales. 2. ed. Cartago, Costa Rica. ITCR. 203 p.

Viquez, J.; Lansing, S.; Martínez, H. 2008. Evaluating digester design for electricity generation. USA. Biocycle. 2 p.

Viquez, J.; Martínez, H. 2007. Evaluación de la sostenibilidad de biogeneración de electricidad por medio del sistema de fermentación anaeróbica de una combinación de dos biodigestores tipo Taiwán alimentados con excretas porcinas y bovinas. Tesis Lic. Ingeniero Agrónomo. Guápiles, Costa Rica, Universidad EARTH. 78 p.

Walsh, J.; Roos, C.; Smith, M.; Harper, S.; Wilkins, A. 1988. Handbook on biogas utilization. USA, Environment, Health and Safety Division Georgia Tech Research Institute. 133 p.

Wilkie, A. 2005. Anaerobic digestion: biology and benefits. Florida, EEUU, Dairy Manure Management Conference. 12 p.