

RODRIGO BARICHELO*

**PEQUEÑO CONDOMINIO DE AGROENERGÍA A PARTIR DEL BIOGÁS
PROVENIENTE DEL TRATAMIENTO DE DEYECCIONES DE PORCINOS:
UN ESTUDIO DE CASO EN EL MUNICIPIO DE TUCUNDUVA, RS**

Monografía presentada al Eco_Lógicas: Concurso
Mercosur de Monografías sobre Energías Renovables y
Eficiencia Energética, auspiciado por el Instituto IDEAL.
Orientación: Profesor Ronaldo Hoffmann**

*Rodrigo Barichello
Alumno del doctorado en Ingeniería de Producción – UFSC
Dirección para correspondencia:
Programa de Post Grado en Ingeniería de Producción – PPGE
Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC
Centro Tecnológico – CTC
Campus Universitario – Trindade – Florianópolis – SC
Casilla Postal 476 – CEP 88040-900
(48) 9629-8259

**Ronaldo Hoffmann
Profesor Titular de la Universidad Federal de Santa Maria – UFSM
Centro de Tecnología – Sala 305
Avenida Roraima – Cidade Universitária – Santa Maria – RS
CEP 97105-900
(55) 9971-2156

Universidad Federal de Santa Catarina
Florianópolis/SC, Brasil
2011

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A mi orientador, Prof. Dr. Ronaldo Hoffmann, por la disposición constante, apoyo, confianza, incentivos concedidos y, principalmente, por su excelente orientación, que perfeccionaron mi rendimiento como investigador y docente universitario.

A la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM) y a la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), por creer en mi profesionalismo.

Al Programa de Post Grado en Ingeniería de Producción y sus profesores, que agregaron mucho a mi conocimiento científico y humano.

A Capes, por la concesión de la beca, recurso fundamental de apoyo económico durante la realización de la maestría y, ahora, doctorado.

A mi familia y novia, por el cariño, comprensión e incentivo en la búsqueda de conocimiento y crecimiento.

A mi padre, eximio emprendedor, que creyó en este proyecto audaz y se arriesgó conjuntamente a emprenderlo, por haber creído en este sueño de transformar la cría de porcinos de este país.

Y a aquellos que, aun no citados, estuvieron presentes, o de manera casual, o esporádicamente, muchas gracias.

RESUMEN

La cría de porcinos es considerada una actividad de gran potencial contaminante, debido a los excrementos generados por los porcinos (deyecciones). Como forma de minimizar esos efectos, la tecnología de digestión anaeróbica en biodigestores es una de las posibilidades para el combate contra la contaminación generada por la cría de porcinos y, al mismo tiempo, agrega valor a las propiedades rurales. El presente trabajo presenta un caso práctico de la implantación de biodigestores en dos propiedades de tamaño mediano criadoras de porcinos y, en consecuencia, la creación de un pequeño condominio de agroenergía, en el cual un gasoducto interconecta las dos propiedades en cuestión, con el objetivo de producción de energía eléctrica aislada que utiliza biogás como combustible en un motor de combustión interna, instalado en una de las propiedades. La planta de producción consiste en un motor estacionario adaptado para operar con biogás, acoplado a un generador eléctrico trifásico de 30 kVA nominales. El estudio revela que la aplicación del proyecto para la producción de energía eléctrica aislada es viable y que la eficiencia global del sistema es satisfactoria, permitiendo inclusive que se exploten las opciones de cogeneración y de emisión certificada de carbono (créditos de carbono).

Palabras clave: biodigestor, producción de energía eléctrica con biogás, condominios de agroenergía.

ABSTRACT

The swine is considered an activity of high pollution potential due to manure generated by pigs (manure). In order to minimize the effects, the technology of anaerobic digestion in biodigesters is one possibility for combating pollution from the pig and at the same time, adds value to rural properties. This paper presents a case study of the implementation of digesters in two medium size properties of pig farmers, and therefore the creation of a small condominium agroenergy, in which a pipeline linking the two properties in question in order to generate energy electrical isolation using biogas as fuel in an internal combustion engine, installed in one of the properties. The generation plant consists of a stationary engine adapted to operate on biogas, electric generator coupled to a three-phase 30 kVA rating. The study reveals that the implementation of the project for power generation alone is feasible and the overall efficiency of the system is satisfactory, and may also be explored options for co-generation and emission certified carbon (carbon credits).

Keywords: biomass, digester gas, electric power generation with biogas, condominiums bioenergy

Introducción

El medio rural brasileño pasó por una intensa revolución tecnológica durante las últimas décadas, que culminó en un considerable aumento de la productividad en el campo. Por otro lado, las operaciones agrícolas se han mostrado como grandes generadoras de residuos en todo el mundo (TSAI et al., 2004; MIN et al., 2005; ARVANITTOYANNIS; LADAS, 2008; WAGNER et al., 2009). Especialmente con relación a la producción brasileña de porcinos, las deyecciones normalmente se lanzan sin tratamiento a los ríos y manantiales (ANGONESE et al., 2006), lo que demuestra el enorme potencial contaminante, pues ese material contiene heces, orina, restos de alimentos no ingeridos y los gérmenes y bacterias asociados (ARVANITTOYANNIS; LADAS, 2008).

La actividad de cría de porcinos ha mostrado significativo crecimiento. Con el aumento de la producción, también aumenta la cantidad de deyecciones producidas. La tecnificación para el tratamiento de las deyecciones porcinas es el gran desafío para la sostenibilidad de esta actividad. Es necesario evitar que se continúen lanzando volúmenes tan grandes de deyecciones al medio ambiente, contaminando los manantiales, el suelo y el aire, pues ponen en riesgo no solamente la calidad de vida de las poblaciones rurales y urbanas, sino también la sobrevivencia de la fauna y de la flora de las regiones en las que están los criaderos.

En este contexto, la tecnología de digestión anaeróbica en biodigestores es una de las posibilidades para el combate contra la contaminación generada por esta actividad que, al mismo tiempo, agrega valor a las propiedades rurales. El uso de biodigestores ha merecido importante destaque debido a los aspectos de saneamiento y energía, además de estimular el reciclaje de nutrientes. La digestión anaeróbica de los residuos animales a través del biodigestor resulta en la producción de biogás (gas inflamable), compuesto básicamente de metano (CH_4 – 60% a 70%), anhídrido carbónico (CO_2 – 30%) (OLIVEIRA, 2004) y biofertilizante.

El uso de los subproductos del proceso de biodigestión (biogás y biofertilizante) permite dar valor a las deyecciones porcinas en las propiedades, transformando un pasivo ambiental en oportunidades, ya que el ítem energía se destaca cada vez más por la interferencia en el costo final de la producción: en el caso de la cría de porcinos, es un factor que merece consideración especial, ya que las oscilaciones de precio del producto reducen la competitividad del sector. El aprovechamiento energético del biogás tiene el objetivo de mejorar el rendimiento global del tratamiento de las deyecciones porcinas, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, colaborando para aumentar la eficiencia energética de la propiedad rural y, en consecuencia, la sostenibilidad de la producción.

En ese contexto, el presente trabajo presenta un caso práctico de la implantación de un pequeño condominio de agroenergía, en el cual se construyó un gasoducto para interconectar el biogás producido en las dos propiedades de tamaño mediano en una pequeña central de recepción, con el objetivo de producción de energía eléctrica aislada que utiliza el biogás como combustible en un motor de combustión interna, instalado en una de las propiedades. La planta de producción consiste en un motor estacionario adaptado para operar con biogás, acoplado a un generador eléctrico trifásico de 30 kVA nominales, teniendo también la posibilidad de explotar las opciones de cogeneración y de emisión certificada de carbono (créditos de carbono).

Producción de biogás y de biofertilizante en la cría de porcinos: el biodigestor

El biodigestor es un equipo en el cual la fermentación de la materia orgánica ocurre de manera controlada, proporcionando la reducción del impacto ambiental y la producción de combustible de bajo costo. La fermentación de los residuos ocurre mediante la acción de organismos microscópicos llamados bacterias. El proceso de descomposición de la materia orgánica resulta en la producción de biogás y en restos digeridos sin olor (biofertilizante) (INSTITUTO SADIA DE SUSTENTABILIDADE, 2006).

El biodigestor es una especie de máquina viva que requiere supervisión continua, para la maximización del proceso. La contribución principal de ese sistema es que las deyecciones producidas en la propiedad se transforman en gas inflamable y los residuos del proceso también se pueden usar como fertilizantes.

Biogás

La digestión anaeróbica es un proceso de tratamiento de materiales orgánicos que se desarrolla en la ausencia de oxígeno y, simultáneamente, una opción energética, con reconocida ventaja ambiental. Uno de los beneficios del proceso, que rápidamente contribuyó con el creciente interés por esa tecnología, está en la conversión de la mayor parte de la carga contaminante del efluente en una fuente de energía: el biogás.

El biogás proveniente de la actividad de los microorganismos está compuesto por una mezcla de varios gases, entre ellos metano, anhídrido carbónico, hidrógeno y dióxido de azufre. El biogás es inflamable debido al metano, gas más liviano que el aire, incoloro e inodoro. Lo que causa el olor en el biogás es el dióxido de azufre, que, aun en cantidades pequeñas, es perceptible por el olfato y bastante corrosivo (INSTITUTO SADIA DE SUSTENTABILIDADE, 2006).

Los microorganismos que actúan en la ausencia de oxígeno atacan a la estructura de materiales orgánicos complejos, produciendo compuestos simples como el metano (CH_4) y el anhídrido carbónico (CO_2), como se observa en la Figura 1 (BITTON, 2005). La composición típica del biogás es aproximadamente 60% de metano, 35% de anhídrido carbónico y 5% de una mezcla de hidrógeno, nitrógeno, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono, aminos volátiles y oxígeno (WEREKO-BROBBY; HAGEN, 2000).

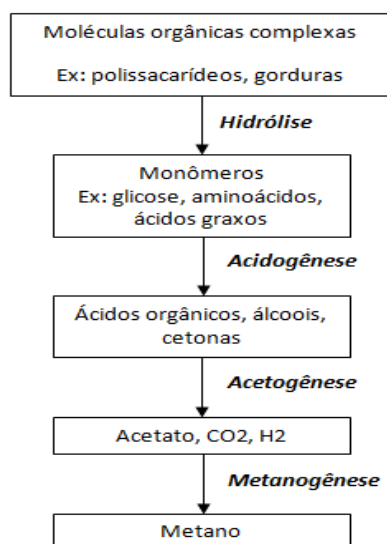


Figura 1. Etapas da degradação anaeróbia (BITTON, 2005).

Para que ocurra la fermentación de la materia orgánica, las bacterias requieren un ambiente favorable para su crecimiento y desarrollo, como, por ejemplo, ausencia de compuestos químicos tóxicos (jabón, detergente); temperatura adecuada (entre 30°C y 45°C); presencia de materia orgánica (deyecciones); y ausencia de aire. Por lo tanto, cualquier interferencia en esos factores podrá causar reducción en la producción de biogás (SEIXAS; MARCHETTI, 1981).

Los microorganismos productores de metano son sensibles a las variaciones de temperatura, por lo tanto se recomienda asegurar su estabilidad, sea a través del calentamiento interno, o por una mejor aislación térmica de la cámara de digestión durante los meses de invierno. Ese punto es bastante crítico, pues en los meses de invierno hay mayor demanda de energía térmica y una tendencia de los biodigestores a producir volúmenes menores de biogás, lo que ocurre por las bajas temperaturas.

Pipatmanomai et al. (2009) expresan que se puede generar biogás de los residuos domésticos, albañales, rellenos sanitarios y, en el caso de la cría de porcinos, de los residuos animales y de las aguas residuales. Estudios realizados por Embrapa Suínos e Aves indican que, en promedio, para cada 76 litros de deyecciones líquidas de porcino, se obtiene la formación de 1 m³ de biogás.

Conversión del biogás en energía eléctrica

El aprovechamiento de los residuos sólidos agropecuarios, urbanos (basura) e industriales ofrece varias ventajas socioambientales y, por eso, existe gran interés en posibilitar su aprovechamiento energético. La producción de energía eléctrica a partir de esos materiales ya ofrece alternativas tecnológicas maduras.

Para Tsai et al. (2004), la producción de energía a través de fuentes renovables como la biomasa alcanzó un *status* más elevado a partir de la década de 1970, con la crisis mundial del petróleo. La biomasa es atractiva como fuente alternativa de energía desde el punto de vista de la sostenibilidad, pues, además de la ganancia explícita para el medio ambiente, hay ganancias directas e indirectas desde el punto de vista social, y se ha mostrado viable desde el punto de vista económico.

Como fue mencionado aquí, ya existen varias tecnologías para realizar la conversión energética del biogás. Se entiende por conversión energética el proceso que transforma un tipo de energía en otro. En el caso del biogás, la energía química

contenida en sus moléculas se convierte en energía mecánica por un proceso de combustión controlada. Esa energía mecánica acciona un generador, que la convierte en energía eléctrica.

Cooperativismo con biogás (condominios de agroenergía)

Bley Júnior (2009) explica que el biogás, como producto y como fuente renovable de energías, se puede explotar en sistemas cooperativos. Para eso, los biodigestores se pueden interconectar por gasoductos rurales, formando conjuntos de redes interconectadas con administración asociativa, **configuradas de manera que permitan** la organización territorial. Son muy interesantes, porque ofrecen escala para la economía del biogás.

Los condominios tienen la posibilidad de asociarse interconectando sus gasoductos a una sola central generadora de energía, para proporcionar una economía en escala sumamente viable para los participantes y resultados importantes en los ámbitos ambiental, energético y, principalmente, económico. Esa organización tiene como perspectiva un modelo de cooperativismo con biogás, independientemente del vínculo del productor con otras cooperativas, o integraciones.

El autor cita, también, que las cooperativas de electrificación rural, que tienen dificultades **para ingresar en el proceso de producción de energía** por las limitaciones legales, pueden encontrar en los condominios asociados una interesante solución económica.

En ese contexto, Itaipú Binacional ejerce un papel fundamental. La institución se ha dedicado al estudio y a la demostración de la viabilidad técnica y económica de la producción de energía eléctrica a través del biogás y del saneamiento ambiental en varias escalas de producción, implantando, por medio de su Dirección de Energías Renovables, un laboratorio al aire libre en la región oeste del Paraná, PR. Se han creado y se están construyendo unidades prototipo en la región, las cuales permiten desarrollar varios estudios relativos al biogás producido por los residuos y efluentes orgánicos, como el estudio de viabilidad económica, estudio de producción distribuida o descentralizada de energía eléctrica, térmica y vehicular, e inclusive estudios sobre mecanismos de desarrollo limpio (MDL) para obtener créditos de carbono.

El presente trabajo contribuye con lo que ya se está implantando y estudiando sobre el asunto, demostrando que el cooperativismo en biogás es posible en pequeños grupos de productores (en este estudio, solamente dos), ya que las distancias entre las propiedades no permiten la interconexión de varios biodigestores.

Metodología del estudio

Según Lakatos (2001), la realización de una investigación es una actividad básica y esencial para el desarrollo del conocimiento, pues, a través de ella, se busca nueva información, nuevas propuestas e nuevas acciones para el desarrollo socioeconómico/ambiental. La naturaleza de este trabajo, de acuerdo con el tema y los objetivos establecidos, se caracteriza como una investigación de tipo exploratoria y utiliza los métodos cuantitativo y cualitativo para realizar la recolección y el análisis de los datos de las propiedades rurales.

La técnica utilizada en esta investigación es el estudio de caso, pues se investigó un fenómeno dentro de su contexto real, en el cual las condiciones contextuales se refieren al objeto que se está estudiando. Yng (2005) comenta que la elección de la

metodología de estudio de caso se debe al hecho de ser una técnica de investigación de comportamientos que no se pueden manejar aisladamente y que se deben analizar en conjunto.

Según Bruyne (1997, p. 224), “el estudio de caso reúne tanta información y tan detallada como sea posible, con el objetivo de captar la totalidad de la situación”.

Se realizó un seguimiento en las propiedades rurales de los procesos involucrados en un periodo anterior a la implantación del sistema de biodigestión, durante y después de su implantación, hasta su total inclusión en las actividades diarias de la propiedad. Por lo tanto, se investigó un fenómeno dentro de su contexto real, aumentando la credibilidad de las conclusiones obtenidas.

Desarrollo y análisis de los resultados

Propiedades del estudio

Las propiedades protagonistas de este estudio están ubicadas en la línea Campininha Tucunduva, en el municipio de Tucunduva, región noroeste del Estado de Rio Grande do Sul.

La propiedad “A” se configura como una unidad productora de lechones (UPL) de 8 kg, con un plantel de 400 matrices y un volumen diario de deyecciones calculado en 18 m³. Para un mejor entendimiento, la UPL hasta 8 kg es el proceso de cría que incluye básicamente las etapas de reproducción y su producto final es la producción de lechones con peso promedio de 6 kg a 8 kg con sólo 20 días de edad, como promedio. Después del destete, se envían a otro establecimiento, para la etapa de guardería.

La propiedad “B” se configura como una UPL de 23 kg, con un plantel de 550 matrices y un volumen diario de deyecciones calculado en 25 m³. En esta, el proceso de producción incluye básicamente las etapas de reproducción y su producto final es la producción de lechones con peso promedio de 18 kg a 23 kg, entre 50 y 60 días de edad. Este criadero, además de los reproductores, tiene la etapa de guardería, en la cual los lechones permanecen desde el destete hasta el envío a otro establecimiento, para la etapa de terminación (engorde).

En la Figura 2, se puede ver la ubicación de las propiedades, así como la posición geográfica de cada una con respecto a las otras.



Figura 2 – Visualización de las propiedades
Fuente: Google Earth (2011)

Contexto

Ambas propiedades iniciaron sus actividades en la cría de porcinos a mediados de la década de 1990. En 2002, firmaron un acuerdo con la agroindustria Sadia S.A., en un sistema de alianza. Bonett y Monticelli (1998) explican que el sistema de alianza se formaliza mediante contratos que exponen exigencias con respecto al origen de la genética y de la ración, **especificaciones técnicas** de manejo y obtención de medicamentos, y el suministro de asistencia técnica y transporte. Los contratos ofrecen garantías formales de compra y venta para las agroindustrias aliadas y especificaciones de volumen y plazos, exigencia de exclusividad y definición de un precio de referencia y de criterios de remuneración de acuerdo con el rendimiento y la uniformidad.

En 2004, la empresa creó el llamado Programa de Suinocultura Sustentável Sadia (programa de cría sostenible de porcinos, de Sadia), el Programa 3S. La meta era llevar a los pequeños y medianos criadores en sistema de alianza al sofisticado mercado de créditos de carbono y asegurar una importante fuente de ingresos para los criadores de porcinos.

La concepción del proyecto comenzó con la posibilidad de generar créditos de carbono con los bosques de eucalipto de la empresa, plantados para abastecer con biomasa al proceso industrial de producción de vapor. Eso llevó a Sadia a iniciar, en 2003, estudios sobre MDL.

Según Sadia (2006), la conclusión fue que el proyecto más prometedor estaba en la cría de porcinos, pues la carga orgánica contaminante de las deyecciones de porcinos es 25 veces mayor que la del ser humano. En las regiones con gran concentración de porcinos, parte de esas deyecciones se lanza al suelo y a los cursos de agua, sin tratamiento adecuado. Para tener una idea de lo que eso significa, una granja de 300 matrices puede producir contaminación equivalente a una ciudad de 75 mil habitantes.

De esa manera, el proyecto de MDL previó la instalación de biodigestores y tuvo como objetivo extender la iniciativa a todos los criadores de porcinos integrados de

Sadia; así, productores con propiedades medianas y pequeñas tendrían la oportunidad de acceder al mercado de crédito de carbono.

El programa estableció que el criador de porcinos recibiría los aparatos en régimen de comodato y disminuiría la inversión al generar sus créditos de carbono, que serían negociados por el Instituto (Figura 3 – Organigrama del Programa 3S). El propio modelo de biodigestor fue solicitado por Sadia a proveedores nacionales, para tener un costo accesible hasta para los menores productores, aquellos que tienen plantales de hasta 300 animales en las granjas.



Figura 3 – Organigrama del Programa 3S
Fuente: Instituto Sadia de Sustentabilidade

Durante todo el 2005, Sadia promovió una amplia divulgación a los criadores de porcinos con los que tenía contrato en sistema de alianza, y la adhesión al proyecto era voluntaria. La inversión de los productores fue mínima y de acuerdo con la viabilidad económica de cada uno. De parte de Sadia, se obtuvieron R\$ 60 millones de una financiación aprobada por el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES).

En ese contexto, las propiedades “A” y “B” se unieron al Proyecto e instalaron biodigestores en sus sistemas productivos.

Iniciativa de la producción de energía eléctrica a través del biogás

Después de instalados los equipos, por determinado periodo sólo se quemaba el biogás producido en los biodigestores en flare (equipo que quema el biogás en altas temperaturas) para acreditar el crédito de carbono, y no se utilizaba de otra manera en la propiedad. Viendo otras oportunidades, comenzaron los estudios por parte de los propietarios para propiciar otras formas de aprovechamiento del biogás, sin que hubiera interferencia en el proyecto de los MDL (crédito de carbono). Entonces, durante el proceso surge la posibilidad de producción de energía aislada.

La iniciativa de producción de energía eléctrica a partir del biogás proveniente del tratamiento de las deyecciones de los porcinos comenzó con la propiedad “A”. Después de muchos estudios, tanto de viabilidad técnica, como de viabilidad

económica, en abril de 2010, la propiedad “A” adecuó sus procesos para propiciar el proyecto de producción de energía eléctrica a través del biogás.

Producción de energía eléctrica: descripción del proceso

Para entender mejor el sistema, se detalla, paso a paso, el proceso de tratamiento de las deyecciones de los porcinos hasta la etapa de producción de energía eléctrica aislada.

El terreno en el que la propiedad “A” está ubicada permitió la instalación del biodigestor y la implantación de unidades colectoras de deyecciones de manera más racional, facilitando las condiciones de manejo. El terreno tiene un poco de declive, permitiendo que las deyecciones producidas en la unidad productiva circulen por tubos de 150 mm (PVC), sin necesidad de bombeo, hasta un tanque de homogeneización de caudal (Figura 4). Todas las deyecciones producidas en la propiedad llegan al interior del biodigestor, en donde pasan por un tiempo de residencia hidráulica calculado en 30 días.



Figura 4 – Cañería colectora de deyecciones

El biodigestor construido en la propiedad es del modelo canadiense (Figura 5), de operación continua, y su producción calculada de biogás corresponde a 150 m³ por día, considerando un caudal promedio de deyecciones de 17 m³ por día.



Figura 5 – Biodigestor modelo canadiense

Además del propio biodigestor, la propiedad instaló un sistema de almacenamiento de biogás. Después del proceso de biodigestión, se envía el biogás a un globo de almacenamiento, a través de una cañería rígida de PVC de 50 mm de diámetro (Figuras 6 y 7), para usarlo posteriormente como combustible en el conjunto motor/generador.



Figura 6 – Globo de almacenamiento



Figura 7 – Biodigestor y globo de almacenamiento

Después de estar en el globo de almacenamiento, el biogás se envía por la cañería al conjunto motor/generador, instalado en la propiedad, que consiste en un motor de combustión interna (diesel) adaptado al uso del biogás como combustible, acoplado a un generador de electricidad, produciendo energía dentro de la propiedad, con un sistema de distribución interno y aislado, en el que existe una caja de comando. En esa caja de comando, se encuentran la energía producida por el grupo generador a biogás y la que viene de la empresa de electricidad local. Mediante el accionamiento de una llave central, el propietario criador elige cual energía quiere utilizar.

El biogás almacenado se transporta a través de una cañería rígida de PVC de 50 mm de diámetro. En esa cañería existen uno o más puntos de purga de agua. También, en la red de distribución del biogás para el conjunto generador se instaló un sistema de filtro (Figura 8), con limadura de hierro en su interior, con el objetivo de retirar el H_2S .



Figura 8 – Filtrado del biogás

El conjunto motor/generador de electricidad trifásico instalado (Figura 9) tiene las siguientes especificaciones: modelo GGB 30 kVA Biogás, con potencia de 30 kVA

stand-by / 25 kVA continuo; control de rotación electrónico por sensor electromagnético; chasis con perfil U doblado; medidas altura/ancho/largo de 1.200 mm x 1.000 mm x 2.000 mm, peso de 1.000 kg; generador marca WEG, con acoplamiento del tipo rígido con brida; grado de protección IP-21; número de polos igual a 4; rotación de 1.800 RPM; frecuencia de 60 Hz; tensión de 380 V; y motor marca Ford 4.9.



Figura 9 – Conjunto motor/generador

El conjunto motor/generador instalado requiere algunos cuidados de acuerdo con las recomendaciones para mantenimiento del sistema: cambio de aceite y filtro cada 250 h – en total son 6 L de aceite en el momento del cambio del filtro, pues siempre es necesario cambiarlo; el cambio de las bujías cada 500 h, limpiándolas cada 250 h; verificación semanal de la tensión de la correa del alternador; y verificación diaria del agua del sistema de refrigeración y del nivel de aceite.

Se instaló el conjunto motor/generador en la mencionada granja en abril de 2010 y funcionaba durante 10 a 12 h/día. El consumo de biogás observado variaba de 10 a 15 m³/h en el conjunto motor/generador, dependiendo de la potencia eléctrica generada.

La producción de energía eléctrica mediante el conjunto motor/generador, en un sistema aislado, depende del consumo de energía de la propiedad, o sea, el motor funciona a una velocidad de acuerdo con la necesidad de producción de energía, ya que no hay excedente de producción. En ese periodo en el que el biogás era proveniente de una propiedad sola, se producía un promedio de 1.700 KW/h por mes.

El monitoreo de la producción de energía eléctrica para evaluación técnica del sistema demostró que la electricidad producida alimenta la red de distribución en baja tensión 220/380 VAC y que, en el lugar más lejano do sistema (200 m), la disminución de tensión verificada no excedió del 1,2%.

En la entrada del biogás al conjunto motor/generador existe un equipo – para identificarlo mejor, está en color azul (Figura 10), en el que ocurre la medición del biogás utilizado (consumido), para que, posteriormente, también cuente como crédito de carbono.



Figura 10 – Sistema de medición metros cúbicos de biogás (crédito de carbono)

Se destaca que la empresa que suministró el conjunto motor/generador tuvo que cumplir requisitos básicos de suministro de sistemas de aprovechamiento energético de biogás para la producción de energía eléctrica, establecidos por un memorándum del Centro de Innovación y Excelencia Sadia. La adaptación del conjunto motor/generador debe estar dentro de los requisitos de la metodología de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para la reducción de emisiones, además de otras especificaciones obligatorias suministradas por Sadia, para que el sistema de producción de energía sea aprobado e integrado al sistema biodigestor/quemador del Programa 3S.

En el memorándum, constan las características de la aplicación del sistema, las características técnicas del conjunto motor/generador, las características de las instalaciones y los pasos para la homologación Sadia, siempre se acuerdo con los requisitos de la metodología de la ONU para la reducción de emisiones.

Creación del condominio de agroenergía

La propiedad “B”, como se dijo, también había instalado el biodigestor sólo para fines de venta del crédito de carbono, en donde un flare (quemador) quemaba el biogás. Como el gas sólo se quemaba, y no se utilizaba para otros fines, de común acuerdo entre los propietarios, comenzaron las conversaciones con la empresa Sadia, en 2010, para conseguir la autorización para construir un gasoducto interconectando las dos propiedades. Así, el gas de la propiedad “B” sería transportado hasta la propiedad “A”, en donde estaba instalado el conjunto motor/generador (Figura 11) y, de la misma manera, se contarían los metros cúbicos de biogás de la propiedad “B”, cuando pasara por el equipo de medición (Figura 10).

Cabe destacar que toda la producción de energía eléctrica que se generará en el proyecto del condominio de agroenergía será utilizada solamente en la propiedad que tiene el conjunto motor/generador, y se están realizando negociaciones sobre cómo será el eventual pago del biogás de la propiedad “B”, entre otras decisiones.



Figura 11 – Exposición del Proyecto Gasoducto de Biogás
Fuente: Google Earth (2011)

Así, en agosto de 2011 se autorizó la construcción del gasoducto, que fue construido en septiembre del mismo año (Figura 12), interconectando las propiedades “A” y “B”. La concepción del gasoducto fue realizada según modelos construidos en países europeos (Alemania).

El gasoducto tiene 470 metros de distancia entre las dos propiedades, y el biogás se transporta a través de una cañería rígida de PVC de 100 mm de diámetro.



Figura 12 – A la izquierda, el gasoducto en construcción; a la derecha, el gasoducto terminado



Figura 13 – Inicio del gasoducto (propiedad “B”)

El gasoducto está interconectado directamente con el biodigestor de la propiedad “B”, como muestra la Figura 13. Después de recorrer el gasoducto, el biogás se almacena en la propiedad “A”, en el globo de almacenamiento (Figura 6).

Algunos números de los proyectos realizados

Se denominó “Primer Proyecto” cuando la producción de energía eléctrica incluía sólo una de las propiedades, como vimos anteriormente, y “Segundo Proyecto” cuando se construyó el gasoducto y se implantó el condominio de agroenergía.

Con el Primer Proyecto terminado y el Segundo Proyecto en construcción por aproximadamente 2 meses, se pudieron verificar números reales en la producción de biogás y de energía eléctrica. A continuación, se presentan algunos datos y resultados.

- Valor (en R\$) del conjunto motor/generador: R\$ 30.000,00.
- Valor (en R\$) de la construcción del gasoducto de biogás: R\$ 2.100,00, valor que incluye tubería, mano de obra y máquinas. Se destaca que hubo subvención de la municipalidad en los costos de las máquinas para la excavación del gasoducto.
- Producción de biogás: a partir de las mediciones realizadas con equipos adecuados, se verificó que en el Primer Proyecto, cada mes había un promedio de 150 m³ de biogás, y con la interconexión de las dos propiedades, el volumen aumentó a 350 m³.
- Tiempo del generador en funcionamiento: en el primer proyecto, el conjunto motor/generador funcionaba de 10 a 12 h/día. Con la implantación del segundo proyecto, el conjunto motor/generador empezó a funcionar aproximadamente 23 h/día. **Se consideró el tiempo que el motor queda apagado para mantenimiento preventivo.**
- Producción de energía eléctrica: en el primer proyecto, los resultados mostraron un promedio de producción de energía eléctrica mensual de 1.700 KW/h, sumando una economía aproximada de R\$ 714,00, considerando el valor del KW/h de R\$ 0,42, basándose en el valor practicado por la cooperativa de electrificación rural, mientras, en

el Segundo Proyecto, se obtuvo una economía de R\$ 2.100,00, o sea, la propiedad deja de pagar a la empresa.

	Primer proyecto	Segundo proyecto
Producción de biogás (mes)	150 m ³	350 m ³
Producción de energía eléctrica (mes)	1.700 KW/h	5.000 KW/h
Tiempo del generador en funcionamiento	10-12 h/día	Aprox. 23 h/día
Economía en R\$ energía (mes)	R\$ 714,00	R\$ 2.100,00

Cuadro 1 – Datos comparativos

Se está elaborando un informe comparativo de viabilidad económica financiera que se presentará posteriormente en otro estudio.

Conclusión

En este trabajo, se demostró la posibilidad de uso del biogás para la producción de energía eléctrica en un pequeño condominio de agroenergía. Este trabajo pone en evidencia, a través de un estudio de caso, de qué manera la implantación de biodigestores para el tratamiento de las deyecciones y la simultánea producción de biogás para la producción de energía y biofertilizante en propiedades criadoras de porcinos pueden mejorar la calidad y la productividad de propiedades criadoras de porcinos, contribuyendo con la solución de problemas relacionados principalmente a la cuestión ambiental y de disponibilidad de energía, además de incentivar la permanencia del trabajador en el medio rural, mediante una producción sostenible.

La posibilidad de uso del biogás en las propiedades con creación de porcinos agrega valor al proceso de tratamiento de las deyecciones de las propiedades rurales, disminuye los costos de producción, e inclusive, permite una visión sistémica del agronegocio, desde el punto de vista de la gestión ambiental. Sin embargo, se ha de destacar que esta tecnología debe ser transferida a los productores rurales con los debidos cuidados, siempre perfeccionando la asistencia técnica, para que no ocurran errores, muchas veces básicos, que puedan malograr todo el proceso.

Los estudios de viabilidad económico/financiera presentan resultados animadores en el uso de esta tecnología, ya que se trata de una unidad de producción de lechones, que demanda gran consumo de energía para el calentamiento de los animales recién nacidos, además de la posibilidad de uso del biofertilizante, lo que reduce la cantidad necesaria de abono químico en la agricultura. Tampoco se estudiaron, todavía, las posibles ganancias futuras con los créditos de carbono.

Los resultados de los programas de agroenergía no se pueden medir sólo por la unidad de energía (kW o kW/h), sino también por su rendimiento económico y por las externalidades ambientales y sociales.

Se verifica que los condominios de agroenergía pueden proporcionar una economía en escala sumamente viable para los participantes e importantes resultados ambientales, energéticos y, principalmente, económicos.

Otro factor importante, vinculado a la ubicación de las propiedades, es la ocurrencia de gran cantidad de eventos ambientales (lluvias con vientos fuertes), lo que causa muchas interrupciones de la transmisión de energía por parte de la empresa de

electricidad local, y el conjunto motor/generador es estratégico para poder minimizar los efectos de esa falta de energía, convirtiéndose también en un generador de emergencia.

Referencias bibliográficas

ANGONESE, A. R. et al. Energy efficiency of swine production system with biodigestor waste treatment. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 10, n. 3, p. 745-750, 2006.

AMON, T. et al. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 17, p. 3204-3212, 2007.

ARVANITTOYANNIS, I. S.; LADAS, D. Meat waste treatment methods and potential uses. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 43, n. 3, p. 543-559, 2008.

BARICHELLO, Rodrigo; RIOS, Jose Valci Pereira. **Estudo da viabilidade econômico-financeira na implantação de um biodigestor na Granja Barichello**. 2007. 89 f. Monografía (Conclusión del Curso de Administración) – Universidade Comunitária Regional de Chapecó, 2007.

Bitton, G. **Wastewater microbiology**. 3. ed. New York: Willey Liss, 2005.

BLEY JR. et al. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**/Maurício Galinkin, editor. - Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y Alimentación, 2009.

BONETT, Lucimar Pereira; MONTICELLI, Cícero Juliano. **Suínos: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Suínos e Aves, 1998.

BRUYNE, P. et al. **Dinâmica da pesquisa em ciências sociais**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1997.

CABRAL, R. A. Productive uses of energy for rural development. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto: Annual Reviews, v. 30, p. 117-144, 2005.

CERUTTI, A. K. et al. Evaluation of the sustainability of swine manure fertilization in orchard through ecological footprint analysis: results from a case study in Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 4, p. 318-324, 2011.

EMBRAPA. **Aspectos práticos do manejo de dejetos suínos**. Florianópolis, 1995.

GUIMARAES, Marcelo (Org.). **Biomassa, energia dos trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Labmidia, 2001.

GUIVANT, Julia Sílvia; MIRANDA, Cláudio R. de (Org.). **Desafios para o desenvolvimento sustentável da suinocultura: uma abordagem multidisciplinar**. Chapecó, SC: Argos, 2004.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MARTINEZ, J. et al. Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. **Biosystems Engineering**, v. 85, n. 3, p. 347-354, 2003.

MIN, B. et al. Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells. **Water Research**, v. 39, n. 20, p. 4961-4968, 2005.

OLIVEIRA, Paulo A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p. (Programa Nacional do Meio Ambiente - PNMA II).

PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUAN, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. **Applied Energy**, v. 86, n. 5, p. 669-674, 2009.

SADIA. Instituto de Sustentabilidade. **Manual de operação de biodigestores**. 2006. Cartilha.

SEIXAS, Jorge; MARCHETTI, Delmar A. B. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: Embrapa Suínos e Aves, 1981.

TSAI, W. T.; CHOU, Y. H.; CHANG, Y. M. Progress in energy utilization from agrowastes in Taiwan. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 8, n. 5, p. 461-481, 2004.

WAGNER, R. C. et al. Hydrogen and methane production from swine wastewater using microbial electrolysis cells. **Water Research**, v. 43, n. 5, p. 1480-1488, Mar. 2009.

WEREKO-BROBBY, C. Y.; HAGEN E. B. **Biomass conversion and technology**. UNESCO. New York, NY: John Wiley and Sons, 2000. (Energy Engineering Series).

YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.