

# 31

Fecha de presentación: mayo, 2020  
Fecha de aceptación: julio, 2020  
Fecha de publicación: septiembre, 2020

## IMPACTO

DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DE LA GRANJA PORCINA GUAYOS

### IMPACT OF BIOGAS PRODUCTION ON THE ENERGY MATRIX OF THE GUAYOS PORCINE FARM

Félix Orestes Hermida García<sup>1</sup>

E-mail: [fhermida@uniss.edu.cu](mailto:fhermida@uniss.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7645-5947>

Ernesto L. Barrera Cardoso<sup>1</sup>

E-mail: [ernestol@uniss.edu.cu](mailto:ernestol@uniss.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0207-4188>

Yasmani Alba<sup>1</sup>

E-mail: [yreyes@uniss.edu.cu](mailto:yreyes@uniss.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9816-3101>

Lisbet López González<sup>1</sup>

E-mail: [lisbet@uniss.edu.cu](mailto:lisbet@uniss.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2362-5703>

Julio Pedraza Garciga<sup>1</sup>

E-mail: [jpedraza@uniss.edu.cu](mailto:jpedraza@uniss.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1780-5297>

Mario Antonio Álvarez-Guerra Plasencia<sup>2</sup>

E-mail: [maguerra@ucf.edu.cu](mailto:maguerra@ucf.edu.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5476-3471>

<sup>1</sup> Universidad de Sancti Spiritus “José Martí Pérez” Cuba.

<sup>2</sup> Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” Cuba.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Hermida García, F. O., Barrera Cardoso, E. L., Alba, Y., López González, L., Pedraza Garciga, J., & Álvarez-Guerra Plasencia, M. A. (2020). Impacto de la producción de biogás en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 254-262

**RESUMEN:** El presente trabajo se desarrolló en la Granja Porcina Guayos, del Municipio Cabaiguán. El trabajo se propone como objetivo de evaluar el impacto de la producción de biogás en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos. La investigación se realizó en tres etapas (Etapa I, II y III): revisión energética de partida (Etapa I); implementación y evaluación de la producción de biogás para la generación de calor primario (Etapa II); e implementación y evaluación de la producción de biogás para la generación de electricidad y calor (Etapa III). Como resultado se mostró que la Granja Porcina Guayos era la entidad que mayores consumos de portadores energéticos tenía en el 2007 y que la producción de biogás era la principal oportunidad de ahorro de los mismos. La implementación de la producción de biogás permitió transformar la matriz energética de la granja, sustituyendo en la etapa II, la leña, el gas licuado y la electricidad para calentamiento de agua en el matadero. La implementación de la generación de electricidad con biogás en la etapa III, permitió seguir transformando la matriz energética de la granja, sustituyendo parcialmente los consumos de electricidad y entregando parte de la misma al Sistema Electro-Energético Nacional. De esta forma se demostró que la producción de energía en centros porcinos puede generar hasta 10 veces la cantidad de energía consumida lo que podría transformarlos en centros de producción de alimentos y energía.

**Palabra clave:** Biogás, energía, sostenibilidad, producción porcina, matriz energética

**ABSTRACT:** The present research was developed in Guayos Porcine Farm in an Agro industrial Complex, located in the Guayos, Municipality of Cabaiguán, Sancti Spiritus, Cuba. The aim of the work was to evaluate the impact of biogas production on the energy matrix of the Guayos Porcine Farm. The research is carried out in three fundamental stages (Stage I, II and III): the initial energy revision (Stage I), the implementation and evaluation of the biogas production for primary heat generation (Stage II); and the implementation and evaluation of the biogas production for electricity and heat generation (Stage III). As a result, it was shown that Guayos Porcine Farm was the highest energy consumer in 2007, being biogas production the main opportunity for energy saving. The implementation of biogas production allowed transforming the energy matrix of the farm, replacing in stage II, firewood, liquefied gas and electricity for water heating in the slaughterhouse. The implementation of the electricity and heat generation in stage III, allowed transforming even more the energy matrix of the farm, partially replacing the electricity consumption and delivering electricity to the Electro-Energetic National Grid. In this way, it was demonstrated that the energy production in porcine centers could generate 10 times the energy demanded, which can reform porcine farms into food and energy producers.

**Keywords:** Biogas, energy, sustainability, porcine production, energy matrix.

## INTRODUCCIÓN

La gestión para un uso eficiente de los recursos energéticos se considera actualmente de gran importancia para el buen funcionamiento de las organizaciones y gradualmente se ha convertido en premisa para el desarrollo de un número creciente de empresas. El origen de todos los cambios o modificaciones que ocurren a nuestro alrededor, sean por causas naturales o provocados, está asociado al término energía (Bravo, 2015).

La crisis del suministro energético ha repercutido en mayor o menor grado en todos los sectores. En virtud de las prioridades asignadas por cada empresa, esta situación ha obligado a la dirección del estado cubano a tomar diversas medidas y programas para enfrentar esta crisis. Como el objetivo final del uso de la energía en Cuba es lograr un desarrollo social armónico y sostenible, que contribuya al bienestar de la mayor cantidad de personas y la protección de los recursos naturales, en especial los energéticos, se hace necesario su uso racional y eficiente (Correa, González & Hernández, 2017).

Las normas ISO 50001 del 2011, definen las normativas para la implementación de los Sistemas de Gestión Energética (SGE) en las empresas, proponiendo un enfoque de mejora continua que incluye la planificación, el hacer, el verificar y el actuar; al mismo tiempo que facilita la reducción de los consumos de energía, los costos financieros asociados y las emisiones de gases de efecto invernadero (ISO International Standardization Organization, 2011). El Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), con la colaboración de varias instituciones del país, ha estado a cargo de la implementación de las ISO 50001 en Cuba y otros países del área, demostrando su efectividad para crear capacidades permanentes para la administración eficiente de la energía, alcanzando significativos impactos económicos y ambientales, y contribuyendo a la creación de una cultura energética ambiental.

Una de las grandes preocupaciones actuales a escala mundial, es la búsqueda de soluciones para prevenir la contaminación ambiental provocada por grandes cantidades de desechos que generan las industrias, planes de desarrollo agropecuario y comunidades donde en su gran mayoría son vertidos sin tratamiento alguno, en el mejor de los casos inadecuado o insuficiente hacia los cuerpos o cursos receptores. En este sentido la producción de biogás ha demostrado ser una alternativa sostenible desde el punto de vista ambiental en centros porcinos cubanos, basada en la sustitución de portadores energéticos convencionales y la reducción de emisiones al ecosistema. Peña, et al. (2013); y Gutiérrez, et al.

(2016), evaluaron el impacto ambiental de ciclo de vida de la producción de porcina en Cienfuegos, y reportaron que la producción de biogás a partir de los residuos biodegradables generados constituye la principal alternativa de mejora. Sin embargo, el impacto de dicha producción de biogás en la matriz energética de los centros porcinos cubanos no ha sido mostrado.

Por tal motivo, el objetivo general de este trabajo fue evaluar el impacto de la producción de biogás en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos, perteneciente a la UEB Complejo Agroindustrial Guayos, de la Empresa Agropecuaria del MININT Sancti Spíritus.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para desarrollar el objetivo se partió de un diagnóstico del consumo de portadores energéticos en la Granja (Etapa 1), se evaluó el impacto del uso del biogás como fuente de calor (Etapa 2) y posteriormente, se evaluó el impacto de la implementación del biogás como fuente de calor y electricidad (Etapa 3). Los principales elementos considerados en cada una de estas etapas se describen a continuación.

### Etapa I. Revisión energética de partida

Se procedió como establece la NC ISO 50001 mediante la revisión energética (International Standardization Organization, 2011), considerando:

1. La caracterización de la UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos donde se expuso su ubicación, estructura, objeto social y misión, su objetivo principal, así como los centros que la componen y sus servicios.
2. El impacto de los portadores energéticos en los costos totales de la UEB.
3. La estructura de consumo de los portadores energéticos para el año 2007. Reitero que es necesario precisar los motivos de la selección del año 2007 para analizar la estructura de consumo y nos encontramos en el 2020
4. El flujograma de la Granja Porcina Guayos.
5. El recorrido de diagnóstico de la Granja Porcina Guayos, proponiendo un plan de medidas técnico-organizativas encaminadas al ahorro de los mismos.
6. La estratificación del consumo de los portadores energéticos para el año 2007.
7. Las potencialidades de la producción de biogás para la reducción del consumo de energía, teniendo en cuenta los volúmenes de excretas porcinas generadas en la entidad según:

- » El número de animales y el peso promedio por tipo y categoría.
- » El índice (I) de generación de excretas como un 5% del peso vivo al día (Savran, 2005; Hermida, 2006), dando como resultado la masa total en kg/d.
- » El cálculo de la masa de sólidos volátiles presentes en la excreta, donde se utilizó un índice del 20% de la masa de excreta fresca.
- » La estimación del gasto de agua como 40 l/animal al día, según la Res. 287 (INRH): "Índices de consumo de agua por actividades", que regula el consumo de agua en centros porcinos y que el 85% de esta acompaña al residual líquido. Por lo que la suma de la masa total de excretas y del agua aportó el flujo diario total de residuos porcinos.
- » Se fijó como intensidad de carga (I), 4 kg de sólidos volátiles (SV)/m<sup>3</sup> de digester al día, según experiencias prácticas adquiridas en este tipo de diseño.
- » Con este parámetro y los sólidos volátiles disponibles en el residual, se determinó el volumen de digestión requerido y multiplicado por 1,20 (factor que considera el espacio de gas dentro del digester) se obtuvo el volumen total del mismo en m<sup>3</sup>.
- » Luego se obtuvieron sus dimensiones considerando una altura máxima de 2,5 m, una velocidad límite del residual de 10 m/h para garantizar un buen contacto entre los microorganismos y el sustrato.
- » Se consideró un tiempo efectivo de carga de 4 h, por el tiempo de limpieza establecido en la Granja Porcina Guayos.

### Etapa II. Diseño, implementación y evaluación de la producción de biogás para la generación de calor

En esta etapa (Etapa II), se procedió a la implementación de la planta de biogás, realizada para el aprovechamiento de los residuales en la producción de energía y la sustitución de los portadores energéticos de la entidad. Para lo cual, se partió del potencial de sustratos para la producción de biogás y se consideró la utilización del mismo, únicamente en la producción de calor primario. Se procedió de la siguiente manera:

1. Se propuso un esquema integrado de los procesos productivos y una planta de biogás para el tratamiento de residuales con el fin de cubrir las demandas energéticas de la empresa.
2. Se utilizaron las ecuaciones de diseño de la tecnología Híbrida o MININT, dimensionando el colector, el biodigestor, el separador líquido-sólido, el lecho de secado, la purificación del biogás, la compresión-almacenamiento y los consumidores de biogás.

#### Para el dimensionamiento del colector:

- » Se tomó como base un mezclador-sedimentador para realizar el pretratamiento del sustrato.
- » Se consideró el filtrado de las tres corrientes de residuales por rejillas, pasando por un sedimentador y utilizando la sedimentación primaria con un régimen de trabajo continuo y de limpieza a *batch*.

#### Para el dimensionamiento del biodigestor:

- Se partió de los volúmenes de residuales generados en la entidad, utilizando el siguiente procedimiento:
- Se diseñó un digester híbrido, de forma rectangular, con tabiques verticales que describen forma de laberinto en su interior y tapa fija.

- » Adicionalmente, se consideraron otros parámetros como el Reynolds (laminar) según diámetro equivalente, la presión de trabajo y productividad de biogás estimada entre 1-1,2 m<sup>3</sup> de biogás/ m<sup>3</sup> de digester\*d.
- » La cantidad de bioabonos producidos en kg/d, se determinó como el 30% de la materia fresca que entra al digester.

#### Para el dimensionamiento del separador:

- » Se utilizaron los modelos referidos por Pavlov, Romankov & Noskov (1981), para separador-sedimentador por gravedad en flujo laminar y continuo.
- » La velocidad de sedimentación de la partícula, el diámetro equivalente de la partícula irregular, densidad del medio líquido y densidad del lodo se toman como criterio empírico.

#### Para el dimensionamiento del lecho de secado:

- » Para su diseño se utilizaron los modelos referidos por et al. (1981), planteando la teoría de filtración por el diseño Carmann y se tomaron como variables empíricas además de las citadas para el diseño del separador la constante de filtración (*k*) y concentración del filtrado (*c*).

#### Para el dimensionamiento del sistema de purificación:

- Para el diseño de una columna de absorción gas-líquido de relleno se utilizó como relleno carbón activado.
- Se utilizó un régimen continuo a contracorriente con lavado utilizando agua.

#### Para el dimensionamiento del sistema compresor – balas de almacenamiento:

- El compresor se dimensionó para el flujo de biogás generado por la planta.

- Para el cálculo del volumen de la bala se tuvo en cuenta la necesidad de almacenar el volumen de biogás producido durante el tiempo sin consumo. Este volumen se determinó en función de la presión en la descarga del compresor considerando al gas como ideal a temperatura constante.
- A partir de las horas de servicio diario, caudales de consumo además de presión del sistema se obtiene el volumen muerto de los cilindros de almacenamiento.
- Para el dimensionamiento de los consumidores de biogás

#### Consumos de biogás en comedores:

- Con el número de comensales (Ct) se puede determinar el volumen de gas necesario ( $m^3/d$ ) para la cocción de alimentos del almuerzo en cada uno de los comedores (Hermida, 2006), mediante la siguiente ecuación:

$V = 7,08 + 0,073 * Ct$ . No se fundamenta componentes de la ecuación

#### Consumos de biogás en el matadero:

- » Se dimensionó un quemador de biogás para sustituir el calentador eléctrico existente, que posee una potencia eléctrica de chapa de 30 kW y consume diariamente 120 kWh como promedio (~4 horas de operación). Para cubrir la energía demandada, el diseño incluyó 5 quemadores de biogás en el fondo de la paila teniendo en cuenta:
  - » Eficiencia de la transferencia de calor (30% de diseño).
  - » Poder calórico del biogás (21 MJ/ $m^3$ ).
  - » Flujo de biogás en los quemadores (3  $m^3/h$  en cada quemador).
1. Se implementaron estas acciones, mediante el proceso de inversión constructiva y tecnológica de los elementos diseñados y comprendió los años 2008-2010.
  2. Se evaluó el impacto de la sustitución de portadores energéticos con calor primario en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos, realizando mediciones directas de consumo de portadores energéticos en la granja durante los años 2011-2012.

#### Etapa III. Implementación y evaluación de la producción de biogás para la generación de electricidad y calor:

En esta etapa (Etapa III), el biogás sobrante se destinó a la generación de electricidad en un grupo electrógeno de 120kVA (unidad disponible). Según datos del fabricante, este motor genera (80% de capacidad nominal) 1,8 kWh

por 1  $Nm^3$  de biogás. Para su realización se procedió de la siguiente forma:

1. Se determinaron las potencialidades del biogás sobrante para la generación de electricidad y la generación adicional de calor secundario (cogeneración). Estas determinaciones se realizaron durante el primer trimestre de 2013, teniendo en cuenta los resultados de las evaluaciones realizadas en el 2011-2012.
2. Se instaló un grupo electrógeno a biogás durante el periodo comprendido entre abril y diciembre 2013, con su correspondiente caldera recuperadora de calor, sincronizador de red y redes eléctricas complementarias.
3. Se evaluó el impacto del ahorro de energía eléctrica durante año 2014, el aporte de electricidad a la red y la generación de calor secundario en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos

En la provincia de Sancti Spíritus, el Ministerio del Interior cuenta con varias unidades destinadas a la producción de alimentos, entre las cuales se halla la UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos, fundada como granja integral en 1986, ubicada en el Consejo Popular Guayos del Municipio Cabaiguán.

Tiene establecido como objeto social:

- Producir viandas, hortalizas, granos, frutales y otros cultivos para el consumo humano.
- Producir posturas de árboles frutales, maderables y de semilla.
- Producir forrajes, caña, palmiche, granos y otros cultivos de la alimentación animal.
- Producir carne de cerdo, res y ovino.
- Desarrollar la producción acuícola para obtener pescado y procesar los subproductos de esta para la alimentación animal.
- Procesar las carnes y producir piensos criollos.
- Generar electricidad a partir de la producción de biogás en la propia granja.
- Desarrollar otras producciones agrícolas pecuarias e industriales.
- Comercializar de forma mayorista en moneda nacional

algunas producciones agrícolas seleccionadas.

Su misión está definida como:

Realizar actividades agrícolas e industriales empleando personal calificado en el tema, con vistas a mejorar los resultados en la producción, que permita garantizar los alimentos y el mejoramiento de las condiciones del personal de las fuerzas del MININT y sus familiares.

La UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos está compuesta por varias unidades:

4. Granja Porcina Guayos
5. Finca La Esperanza
6. Centro Multiplicador

#### Estructura de gastos de la UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos

En la estructura de los gastos totales de la UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos para el año 2007, se pudo constatar que los gastos de fuerza de trabajo y materias primas e insumos representan el 88% del total, y que los portadores energéticos no tuvieron una gran representatividad, quedando relegados al 1,6%. Esta situación es válida sólo en el escenario empresarial cubano, porque la energía eléctrica es subsidiada, y el diésel se suministra (como promedio) a 800 CUP/t y la electricidad a razón de 0,21 CUP/kWh, en tanto que el 50% del crudo consumido en el país se importa del mercado internacional a precios que han alcanzado los 634,85 USD/t. Este subsidio es fuente de no pocas limitaciones, tanto para el presente análisis cuyo resultado distorsiona la repercusión de los gastos energéticos dentro de las empresas. A pesar de ello, se reconoce la necesidad del ahorro de portadores energéticos convencionales y se hace obligatoria la proyección de las entidades en esta dirección.

#### Consumo de electricidad en las unidades de la UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos

Se pudo comprobar que la Granja Porcina Guayos representó el 80% del total de energía eléctrica consumida en la UEB Complejo Agropecuario Industrial Guayos, lo que indicó la necesidad de trabajar por reducir este consumo en dicha unidad.

#### Caracterización de la Granja Porcina Guayos

En el año 2007 (Etapa 1), en la Granja Porcina Guayos estaba dedicado a la producción porcina casi exclusivamente, con una capacidad productiva de 1300 cerdos, además de 60 bovinos y 50 ovinos, con líneas dirigidas a la producción de carnes. La cocción de los alimentos se realizaba con leña, el calentamiento del agua para el

matadero de cerdos, y el propio escaldado dentro de este matadero se realizaba manualmente. En esta etapa, los residuales se enviaban directamente a un sistema de tres lagunas y la energía se consumía del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) para la fabricación de pienso líquido, el matadero, la preparación de alimento animal y el bombeo de agua.

#### Acciones encaminadas al ahorro de portadores energéticos

Al analizar estas condiciones, la dirección del MININT indicó un plan de medidas técnico-organizativas a propósito de lograr ahorro de portadores energéticos, entre ellas:

- » Entregar los combustibles según índices de consumo reales de los equipos automotores.
- » Cambiar las luminarias por la tecnología LED.
- » Instalar los bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia.
- » Estudiar y ejecutar la desconexión de transformadores sub-cargados y agruparlas cargas de estos.
- » Reconstruir la máxima demanda de acuerdo a la situación de la producción concreta en cada momento.
- » Disminuir el consumo de combustibles.
- » Regular el uso de los sistemas climatizados.
- » Cumplir con el plan de energía asignado.
- » Estudiar las posibilidades de usar las fuentes renovables de energía (biomasa, solar térmica, solar fotovoltaica, eólica, etc.), especialmente la producción de biogás a partir del tratamiento de los residuales que se generan.
- » Implementar la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) en las grandes unidades.
- » Bombear agua fuera del horario pico.

#### Estructura de consumo de portadores energéticos en la Granja Porcina Guayos

La estructura de consumo de portadores energéticos para la Granja Porcina Guayos en el año 2007, se muestra en la Figura 1. En esta etapa I, la matriz energética era muy diversa, se contaba con cinco portadores, donde la electricidad representaba el 64%. Este portador procede del sistema energético nacional, lo que hacía a la entidad abierta y dependiente. El consumo de leña completó el 78% y según el principio de Pareto, sustituyendo estos portadores se resuelven la mayor parte (~80%) de los problemas energéticos de la entidad. El restante 22% lo conformaron los portadores mezcla de fueloil-diésel para

la producción de piensos líquidos, el diésel para el transporte y el gas licuado del petróleo (GLP) para algunas actividades de cocción.

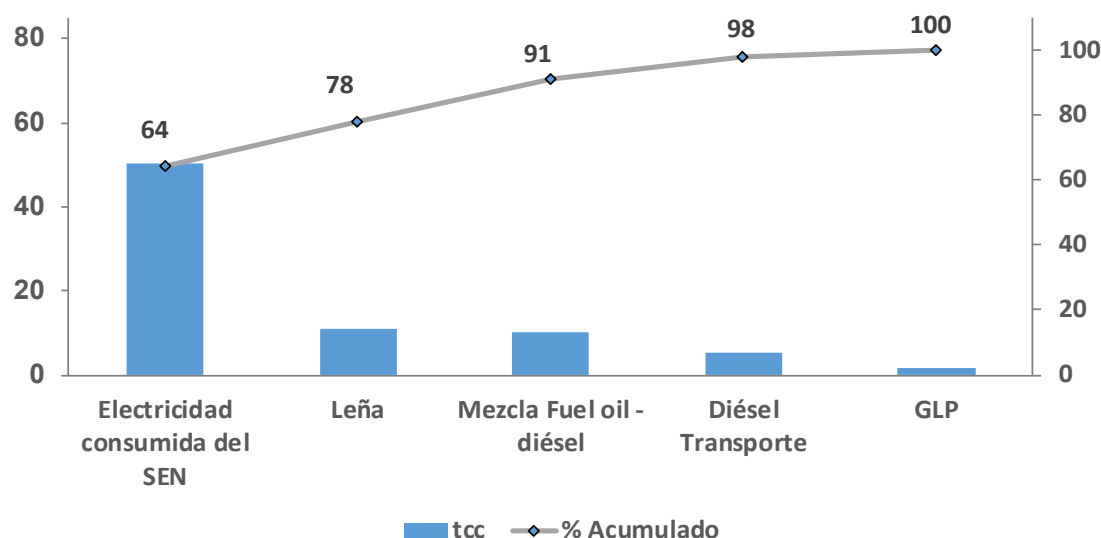


Figura 1. Estructura de consumo de portadores energéticos de la Granja Porcina Guayos (Etapa I. Año 2007).

#### Potencialidades de la producción de biogás en la Granja Porcina Guayos

Como resultado de la evaluación de las acciones orientadas, se analizó el aprovechamiento de los residuales agropecuarios para la producción de biogás. Los volúmenes de excreta generadas por tipo de animal (t/d) y las producciones de biogás estimadas ( $m^3/d$ ) de cada uno de ellos se muestran en la Figura 2.

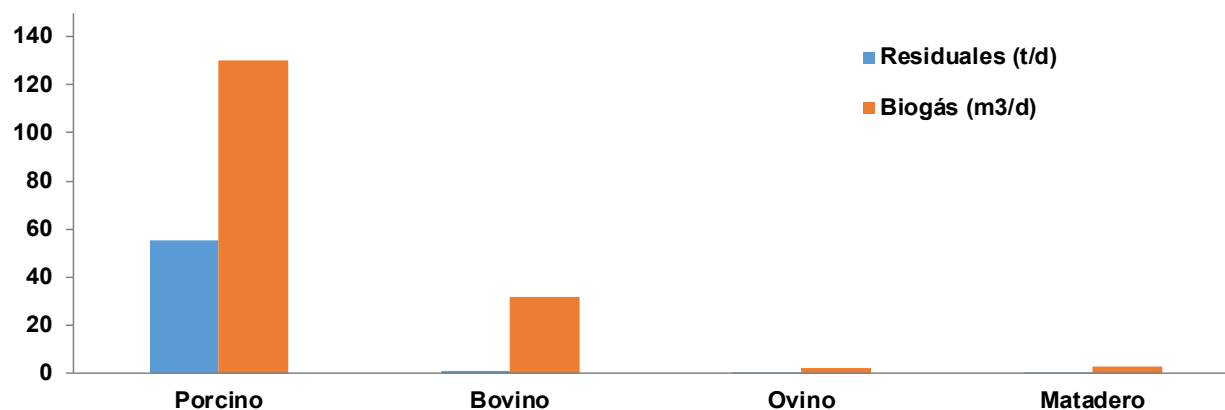


Figura 2. Potencialidades de la producción de biogás a partir de los residuales agropecuarios de la Granja Porcina Guayos (Etapa I. Año 2007).

Se pudo determinar que los residuales agropecuarios podrían generar  $167 m^3$  de biogás diarios, siendo los residuales porcinos los de mayor repercusión (~78%) debido a la existencia de una mayor masa ganadera. Se calculó que para la cocción de alimentos solo eran necesarios  $20 m^3$  de biogás diarios, por lo que el excedente podría ser utilizado en la generación de energía eléctrica y térmica. Por tal motivo, se pudieron evidenciar oportunidades de ahorro de los portadores leña, gas licuado y electricidad en las diferentes actividades de la Granja.

El flujograma propuesto para la incorporación de la planta de biogás en la entidad integró otros procesos productivos (procesamiento de pescado) debido al incremento esperado de la disponibilidad de energía. La implementación del biogás, como parte del sistema de tratamiento de residuales, así como la integración de los procesos productivos posibilita clasificar el nuevo escenario como de ciclo cerrado en el concepto ambiental. A partir de entonces se elimina la emanación de un gas de poderoso efecto invernadero (metano), y se realiza la disposición final de los residuales líquidos cumpliendo con el marco regulatorio establecido; la fracción sólida de los residuales (lodos) son separados y destinados al mejoramiento de suelos agrícolas

### Etapa II. Implementación de la producción de biogás para la generación de calor (Años 2008-2012)

Como resultado de las acciones para resolver adecuadamente el tratamiento de los residuales y la sustitución de portadores energéticos convencionales, la entidad emprendió una nueva etapa de desarrollo al introducir el biogás como nuevo y preponderante portador energético en la matriz (Etapa II). El referido hecho posibilitó, tanto la introducción del biogás como portador absoluto en las actividades de: calentamiento de agua para el escaldado, flameo y cocción de los alimentos; como también la modificación cuantitativa y cualitativa de los procesos productivos en aumento de los rebaños: 2000 porcinos, 140 ovinos, 70 bovinos. Al mismo tiempo, se integraron tres procesos productivos: la trituración mecanizada del forraje del ganado herbívoro, el procesamiento de pescado y el aumento de la capacidad de refrigeración y producción de conservas de vegetales.

La estructura de consumo de portadores energéticos en la Etapa II se muestra en la Figura 3. Se observó que el biogás pasó a ser el portador energético de mayor peso, ocupando un 38% del total en la nueva matriz energética, desplazando la electricidad consumida del SEN a un segundo lugar con un 35%. De esta forma, se eliminó en su totalidad la leña y el gas licuado y se redujo el diésel por concepto de transportación de leña. En esta etapa, la generación de biogás fue superior a la capacidad de uso del mismo en la Granja; por lo cual se comenzó a liberar (quemándolo previamente) el volumen excedente (37 tcc). Por tal motivo, la empresa decide diversificar aún más el uso de biogás mediante la generación de electricidad.

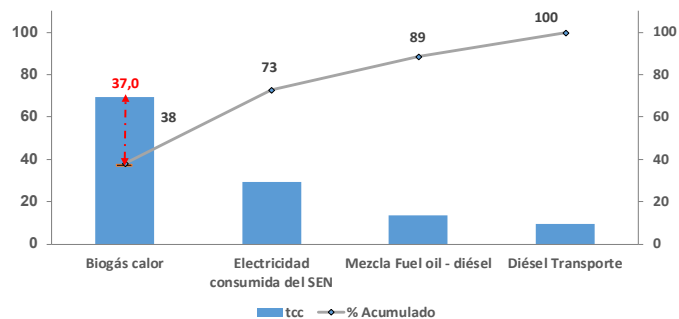


Figura 3. Estructura de consumo de portadores energéticos en la Granja Porcina Guayos (Etapa II. Años 2008-2012).

### Etapa III: Implementación de la generación de electricidad con biogás sincronizado al SEN (Años 2013-2014)

En esta etapa de desarrollo se incrementó el uso del biogás mediante la generación de energía eléctrica sincronizando al Sistema Energético Nacional (SEN). Al mismo tiempo, se aprovechó la energía térmica de la cogeneración en el calentamiento de agua para el escaldado en el proceso industrial. Ello fue posible utilizando los volúmenes de biogás excedentes de la Etapa II. La generación de electricidad y la sincronización al SEN introdujo un nuevo rubro productivo, la venta de energía eléctrica (promedios diarios de 320 kWh), así como la disminución del consumo de electricidad del SEN durante el tiempo real de la operación de sincronizado.

Otro nuevo proceso productivo que se introdujo consistió en la práctica del fertirriego de las áreas de cultivo de forrajes, ahora con un significativo aumento de producción, así como una mejora cualitativa por eliminar la disposición final de residuales líquidos a la cuenca; con esta medida culmina el cierre ambiental del ciclo productivo. Esto permitió también, el aumento del rebaño (3100 porcinos, 200 ovinos, y 70 bovinos) y el incremento en los niveles de producción de carnes, la capacidad de refrigeración y climatización.

La estructura de consumo de portadores energéticos de la Etapa III se muestra en la Figura 4. En esta etapa, se incrementó la repercusión del biogás en la matriz energética, representando el 61% del total (117 tcc/año). El consumo neto de electricidad, (consumo del SEN menos entrega al SEN), representó ahora el 14%, ocupando el tercer puesto en la matriz energética de la Granja. Se destacó que se destinó a la generación de electricidad el excedente de biogás después de satisfacer las demandas de los procesos productivos internos de la granja.

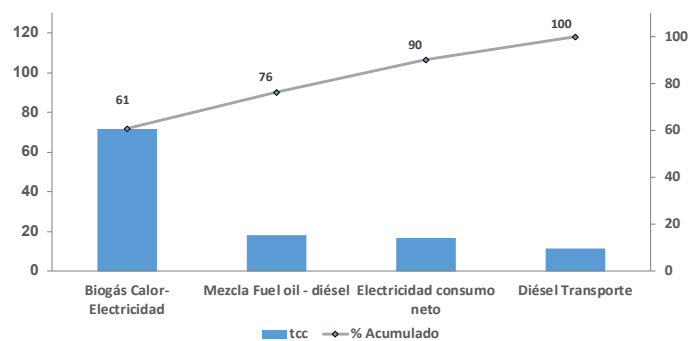


Figura 4. Estructura de consumo de portadores energéticos de la Granja Porcina Guayos posterior a la implementación de la generación de electricidad con biogás y sincronizado al SEN (Etapa III. Año 2013-2014).

### Evolución de la matriz energética durante las etapas I, II y III

La evolución de la matriz energética durante las etapas I, II y III se muestra en la Figura 5. Esta evolución estuvo caracterizada por una reducción del 50 al 16% en el peso del consumo de electricidad y un incremento marcado de la participación del biogás (0-72%). La aparición del biogás en la matriz contribuyó también a la sustitución de la leña y gas licuado, los cuales desaparecieron en las etapas II y III. El uso de los portadores diésel (aumenta del 5 al 12%) y mezcla fuel oil (aumenta del 10 al 18%), se incrementa ligeramente debido al incremento de los niveles de actividad en la granja (cabezas de ganado) y la imposibilidad de su sustitución con las tecnologías de consumo de biogás existentes.

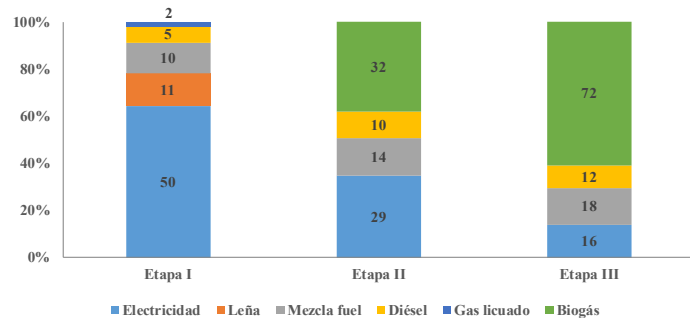


Figura 5. Evolución de la matriz energética en la Granja Porcina Guayos durante las etapas I, II y III.

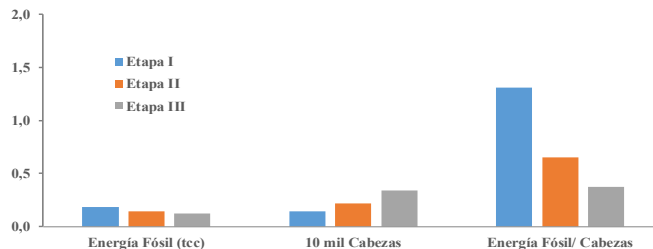


Figura 6. Evolución del consumo de energía fósil (electricidad del SEN, diésel, gas licuado, mezcla fuel), del número de cabezas de ganado y del índice de consumo (energía fósil/cabezas) durante las etapas I, II y III.

En cada etapa se evidenciaron variaciones en el índice de consumo de combustible fósil en la Granja, expresado como la razón entre el consumo de combustible fósil y las cabezas de ganado existentes (energía fósil/cabezas). La evolución del consumo de energía fósil (electricidad del SEN, diésel, gas licuado, mezcla fuel), del número de cabezas de ganado y del índice de consumo (energía fósil/cabezas) durante las etapas I, II y III se muestra en la Figura 6. Se pudo observar que el consumo de combustible fósil (Energía fósil) se redujo 1.5 veces de la etapa I a la III, a pesar de que el número de cabezas de ganado se incrementó 2.3 veces. Esto demostró que el biogás producido permitió ampliar la disponibilidad de energía total e incrementar los niveles productivos de la Granja. Consecuentemente, el índice de consumo de combustible fósil (Energía fósil/Cabezas) se redujo 3.5 veces, lo que mostró el impacto de la producción de biogás en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos.

### CONCLUSIONES

En el trabajo se evalúa el impacto de la producción de biogás en la matriz energética de la Granja Porcina Guayos, perteneciente a la UEB Complejo Agroindustrial Guayos, de la Empresa Agropecuaria del MININT Sancti Spiritus. Se demuestra que la Granja Porcina Guayos es la entidad con mayores consumos de portadores energéticos, donde la producción de biogás constituía la principal oportunidad de ahorro de los mismos. La implementación de la producción de biogás en la Granja, permitió transformar la estructura de portadores energéticos (matriz energética de la granja), sustituyendo en la etapa II, 32 tcc (sustitución de leña, gas licuado y electricidad para calentamiento de agua en el matadero). Así mismo, la implementación de la generación de electricidad con biogás en la etapa III, permitió transformar aún más la matriz energética de la granja, sustituyéndose 72 tcc (sustitución de leña, gas licuado y electricidad), y entregando electricidad al SEN. De esta forma se demostró que la producción de energía en centros porcinos puede generar hasta 10 veces



la cantidad de energía consumida lo que podría transformarlos en centros de producción de alimentos y energía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bravo, D. (2015). Energía y desarrollo sostenible en Cuba. *Centro Azúcar*, 42(4), 14-25.
- Correa, J., González, S., & Hernández, Á. (2017). La gestión energética local: elemento del desarrollo sostenible en Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(2), 59-67.
- Gutiérrez, A. S., Eras, J. J. C., Billen, P., & Vandecasteele, C. (2016). Environmental assessment of pig production in Cienfuegos, Cuba: alternatives for manure management. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2518-2528.
- Hermida, F. O. (2006). Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios. (Ponencia). II International Symposium: Society Tourism and Human Development. Sancti Spiritus, Cuba.
- International Standardization Organization. (2011). ISO:50001. Sistemas de gestión de la energía. ISO.
- Pavlov, K. F., Romankov, P. G., & Noskov, A. (1981). *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química*. Mir.
- Peña, M. D., Cabanes, D. C., Rodríguez, O. Á., & Reyes, R. D. R. (2013). Aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida para la mejora ambiental en áreas de incidencia de la producción porcina en Cienfuegos, Cuba. *Revista ECOVIDA*, 4(2), 103-119.
- Savran, V. (2005). *Una solución energético – ambiental para reducción de contaminantes agropecuarios, como contribución al manejo integrado de la cuenca Zaza*. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.