



Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la
Energía (CUBAENERGIA)

Estudio para determinar el potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás producido en unidades porcinas cubanas

Informe técnico final del convenio específico de colaboración técnica
establecido entre la Organización Latinoamericana para el Desarrollo
de la Energía (OLADE) y CUBAENERGIA

Institución cabecera: CUBAENERGIA

Jefe del proyecto: Dr. Iván Relova Delgado

La Habana, octubre 2016

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	II
INDICE DE ILUSTRACIONES	III
INDICE DE FIGURAS.....	IV
GLOSARIO DE TÉRMINOS	V
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
ANTECEDENTES	4
1. DISEÑO METODOLÓGICO	6
Diseño de los procesos para la aplicación del estudio con los actores involucrados	6
Diseño e implementación de la metodología para el levantamiento de la muestra con productores del país a partir de las diferentes tecnologías	7
Bases para la selección de la muestra	8
Levantamiento de la Información específica sobre la base de la metodología aplicada a las granjas objeto del estudio en la región occidental de Cuba.....	8
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
Principales datos de las granjas de producción porcina en el país.....	14
Propuesta de diseño para la generación de electricidad a partir del biogás producido en las diferentes tipos de granjas.....	15
3. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA ECONÓMICO DE LAS VARIANTES PROPUESTAS PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO EN LAS GRANJAS PORCINAS.....	22
Descripción de la solución tecnológica	22
Costos	24
Ingresos	28
Análisis Económico	29
CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES.....	33
ANEXOS	34
ANEXO 1. Metodología para la realización de un levantamiento a una muestra representativa de productores del país, en los temas del uso eléctrico del biogás.....	34
ANEXO 2. Resultados de las encuesta aplicadas en los sitios de intervención	38
Anexo No 3 Listado del Equipo consultor y participantes en el proyecto.....	53

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Datos de unidades de producción y de cabezas en el sector porcino de Cuba. ...</i>	14
<i>Tabla 2 Unidades de producción en correspondencia con su tamaño.....</i>	15
<i>Tabla 3. Subdivisión de las unidades de producción, número de cabezas y producción diaria de biogás.</i>	16
<i>Tabla 4. Uso del biogás para la Variante No. 1</i>	19
<i>Tabla 5. Uso del biogás para la Variante No. 2</i>	20
<i>Tabla 6. Uso del biogás en la Variante No. 3.....</i>	21
<i>Tabla 7. Instalaciones y tipo de tratamiento anaeróbico.....</i>	22
<i>Tabla 8. Fracción del biogás producido destinado a la generación de electricidad</i>	23
<i>Tabla 9. Generación de electricidad.....</i>	24
<i>Tabla 10. Componentes de los costos de inversión</i>	25
<i>Tabla 11. Costo de Inversión: Caso 1*</i>	25
<i>Tabla 12. Costo de Inversión: Caso 2 *</i>	26
<i>Tabla 13. Salario y prestaciones.....</i>	26
<i>Tabla 14. Índice de mantenimiento.....</i>	27
<i>Tabla 15. Costo de operación.....</i>	27
<i>Tabla 16. Tarifa eléctrica sector residencial.....</i>	28
<i>Tabla 17. Ingresos por electricidad generada.....</i>	29
<i>Tabla 18. Resultado del análisis económico.....</i>	30
<i>Tabla 19. Equipos para la utilización del biogás de forma directa.....</i>	31
<i>Tabla 20. Motogeneradores eléctricos a base de biogás</i>	32

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1</i>	<i>Sistemas de tratamiento en granjas porcinas en la provincia Artemisa.....</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 2</i>	<i>Encuentros con productores y técnicos en las granjas visitadas.....</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 3</i>	<i>Convenio Integral Porcino Juan Pontigo.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 4</i>	<i>Sistema de tratamiento Finca “La Puerta del Sabino”.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 5</i>	<i>Especialistas y trabajadores en la Finca “La Agustina”.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 6</i>	<i>Especialistas evalúan sistema de tratamiento en la Finca “El Brujo”.....</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 7</i>	<i>Visita a la UEB “Frank País” en la provincia Matanzas.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 8</i>	<i>Parte del sistema eléctrico de la UEB “ Frank País”.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 9</i>	<i>Parte del sistema eléctrico de la UEB "Frank País".....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 10</i>	<i>Necesidades comunes de uso del biogás.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 11</i>	<i>Equipos específicos usados en las granjas porcinas.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 12</i>	<i>Granja porcina en la provincia Artemisa.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 13</i>	<i>Granja porcina en Pinar del Río.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 14</i>	<i>Naves de la UEB "Frank País".....</i>	<i>18</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema de solución tecnológica</i>	<i>23</i>
--	-----------

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CCS: Cooperativa de créditos y servicios

CCS: Cooperativa de créditos y servicios fortalecida

CITMA: Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

CUBAENERGIA: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía

IIP: Instituto de Investigaciones Porcinas

INEL: Empresa de Ingeniería y Proyectos para la Electricidad

MINAG: Ministerio de la Agricultura de Cuba

MUB: Movimiento de Usuarios del Biogás

NAMA: Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada

OLADE: Organización Latinoamericana de Energía

PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

PNUMA DTU PARTNERSHIP: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente

TNA: Evaluación de Necesidades Tecnológicas

UNE: Unión Eléctrica. Empresa eléctrica de Cuba

RESUMEN

Los resultados del trabajo se estructuran en tres capítulos, en el primer capítulo se dispone de toda la información recopilada mediante una metodología propuesta por el equipo consultor en las granjas clasificadas según el tamaño de la masa porcina y las tecnologías utilizadas en los sistemas de tratamiento, además se realizó el levantamiento de toda la información, lo cual incluye un reporte de la masa porcina actual y las mediciones actuales y futuras de las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero, donde se tuvo en cuenta el criterio de expertos, especialistas y productores y fue aplicado el método de encuestas y trabajo de diálogo en las granjas objeto de estudio para las cuales se propusieron las variantes tecnológicas para la utilización del calor y electricidad en las granjas objetos de estudio. El segundo capítulo estuvo relacionado con la elaboración de un diseño general de sistema de generación de electricidad a partir del uso del biogás de las instalaciones de producción porcina, con las variantes de generación identificadas (calor-electricidad) en las granjas y el manejo de la información para la elaboración del estudio de viabilidad técnico-económico a los sistemas de generación propuestos. En el tercer y último capítulo el trabajo se realiza el estudio para establecer de manera preliminar la viabilidad técnico económico de las opciones propuestas para el uso en la generación de electricidad del biogás producido en las instalaciones anaeróbicas de tratamiento de residuales a instalar por productores porcinos para cumplir con las regulaciones nacionales existentes en relación con el impacto ambiental de esta actividad productiva. Finalmente se establecen una serie de conclusiones y recomendaciones del estudio que aportan un resultado en las granjas que se basa primeramente en la utilización del biogás en forma de calor para los usos directos en las instalaciones porcinas, así como los usos eléctricos en los equipos instalados en las mismas granjas y la evaluación del excedente de electricidad será valorado caso a caso.

INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta a continuación estuvo bajo la coordinación del CUBAENERGIA. El apoyo técnico y financiero corrió por parte de la OLADE, con fondos proveniente de la cooperación Canadiense. Participaron en el estudio investigadores y especialistas del IIP, del Centro de Promoción y de Desarrollo del Biogás, de la UNE, de INEL, así como la División Ganadera perteneciente al Ministerio de la Agricultura MINAG.

Para la ejecución del estudio se dispuso de los resultados y aportes de proyectos ejecutados anteriormente:

- CARBONO 2012, coordinado por el PNUD, que realizó el levantamiento de la información en el sector estatal en Cuba;
- TNA-Cuba, coordinado por el Centro PNUMA RISO, que realizó el análisis de tecnologías para la mitigación del cambio climático en el sector porcícola cubano;
- Elaboración de un concepto de NAMA para reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la porcicultura cubana.

Este estudio resulta un complemento a todos los resultados antes mencionado para el sector porcino en el país, donde se elaboró una ficha sobre la información del sector porcino agrupado en la División Tecnológica Porcina, perteneciente al Grupo Ganadero del MINAG, se partió de una línea base inicial del 2010 y se actualizó en el 2015 con un crecimiento de la masa porcina 80 mil cabezas anualmente, por lo que se estableció un escenario tendencial con la introducción de una acción de mitigación al año 2025, donde la reducción de emisiones ascendería a 538 000,00 ton/CO_{2e} por año a la atmosfera. Posteriormente se realizó un análisis de tecnologías para el sector donde se tuvo en cuenta los manuales del IIP para clasificación de las granjas en pequeñas hasta 150 cabezas, las de porte mediano entre 151 y 500 cabezas y las de porte grande por encima de 501 cabezas de cerdo, de ahí se clasificaron las tecnologías más adecuadas consistentes en tubulares, de cúpula fija, de campana flotante y las laguna tapada industrial para los diferentes tamaños de las granjas. Con todos estos datos se procedió a elaborar una ficha de NAMA para el sector porcino siguiendo la metodología propuesta por PNUMA con datos actualizados a partir del 2013 para el sector, seguido a estos resultados se realizaron dos estudios complementarios uno de ellos para la identificación y remoción de barreras que impiden el desarrollo del sector en las granjas identificadas en las tres zonas del país y con posibilidades de replicación a nivel nacional y por último se desarrolló un estudio para el diseño y estudio de la viabilidad técnica y económica, y proponer las acciones que se requieran para implementar los sistemas de generación de energía eléctrica a partir del biogás obtenido del procesamiento de los residuales porcinos en las unidades de producción del país que tengan los sistemas de tratamiento en pleno funcionamiento en la zona occidental del país por ser esta la de menos generación de electricidad al sistema interconectado al país.

- Este estudio en la actualidad es uno de los más completos en el país, ya que recoge las acciones de adaptación y la medidas de mitigación propuesta en el

programa porcino perteneciente al Ministerio de Agricultura de la República de Cuba, cuyo estudio puede ser presentado a los fondos ambientales y los financiamientos climáticos disponibles como el Fondo Verde del Clima, siendo una acción nacional del país dentro de las contribuciones nacionales identificadas en el recién acuerdo de Paris.

ANTECEDENTES

De todos es ya sabido que uno de los problemas más serios que enfrenta La Humanidad actualmente es El Cambio Climático que sufre el planeta y que es provocado por la intensidad de la actividad del hombre sobre todo al quemar combustibles fósiles, talar las selvas tropicales y explotar el ganado. Las enormes cantidades de gases así producidos se añaden a los que se liberan de forma natural en la atmósfera, y son las causas de los significativos del cambio del clima actual.

Para enfrentar esta situación es necesario realizar acciones en dos dimensiones: desde el punto de vista de la adaptación (el cambio climático es irreversible, al menos por el momento, y hay que adaptarse) y desde el punto de vista de la mitigación (disminuir la intensidad de la actividad del hombre sobre el planeta). Cuba, en su condición de pequeño país insular, ha declarado que sus principales esfuerzos van a estar dirigidos a las acciones de adaptación. Aun así el país no desconoce la necesidad de realizar acciones de mitigación nacionales por lo que desde hace un tiempo viene realizando actividades para sumarse a los esfuerzos mundiales para reducir las emisiones de CO₂e.

Unos de estos esfuerzos nacionales en ese sentido es la elaboración de una acción de mitigación nacional (NAMA) para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en la porcicultura cubana al utilizar el biogás que se genera al tratar los residuales porcinos por vías anaerobias.

En ese sentido, OLADE, en el marco del proyecto con la cooperación canadiense; "Energía Sostenible para América Latina y El Caribe" ha venido apoyando a sus países miembros brindando asistencia técnica en aspectos relacionados con la mitigación y adaptación al cambio climático en el sector energético, donde se ha incluido la preparación y desarrollo de las primeras fases de la NAMA en el sector porcino de Cuba.

En la identificación y priorización de barreras que afectan al sector porcino en Cuba se detectó la necesidad de realizar estudios más detallados que complementaran todos los trabajos anteriores en cuatro líneas fundamentales:

- En base a las experiencias del sector, conceptualizar, diseñar y estandarizar las variantes tecnológicas más viables y comunes de los sistemas de tratamiento de residuales a utilizar en las unidades de producción porcina en el país.
- Elaborar los requerimientos y procedimientos técnicos específicos para la implementación del sistema MRV para las variantes de tecnologías más comunes de los sistemas de tratamiento de residuales a utilizar en la NAMA.
- Diseñar, estudiar la viabilidad técnica y económica, y proponer las acciones que se requieran para implementar los sistemas de generación de energía eléctrica a partir del biogás obtenido del procesamiento de los residuales porcinos en las unidades de producción del país.
- Realizar estudio tanto de la cadena de suministros, como de la cadena de usos finales de los productos obtenidos de los sistemas de tratamiento, para incrementar acciones que faciliten el despliegue de la NAMA en el sector

De las líneas anteriores se decidió escoger el tema eléctrico por ser una de las prioridades del país. En la “Actualización de los Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021 aprobados en el 7mo Congreso del Partido y por La Asamblea Nacional en 2016” se llama a acelerar el cumplimiento del Programa aprobado hasta 2030, para el desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía.¹

En consonancia con todo lo anteriormente planteado OLADE decidió brindar apoyo a Cuba para la realización del estudio complementario para la determinación del potencial de generación de energía eléctrica a partir del biogás en unidades porcinas cubanas identificadas por la División Tecnológica Porcina y la Unión Eléctrica de Cuba en la zona occidental del país.

¹ Capítulo VIII. Política Industrial y Energética. Lineamiento 202, pág. 39.

1. DISEÑO METODOLÓGICO

Diseño de los procesos para la aplicación del estudio con los actores involucrados

En los encuentros se aplicaron los programas, metodologías y procedimientos aprobados por los expertos en los talleres efectuados en los estudios anteriores: información sobre la NAMA; sobre las barreras generales, y las acciones para eliminarlas. Se presentaron las conclusiones del último estudio de barreras que identificaba cuatro estudios complementarios que se requería realizar para facilitar la implementación de la NAMA, entre los que se encuentra el sistema de electrificación que se quiere trabajar en este estudio específicamente, donde se escucharon las propuestas de los expertos de la Unión Eléctrica.

Se intercambiaron experiencias entre los principales actores de los distintos centros involucrados en el estudio (IIP; División Tecnológica Porcina, MUB; UNE; INEL; CUBAENERGIA), sobre el proceso inversionista en los sistemas de tratamiento y los enfoques generales de los consultores de la UNE relacionado con el tema energético en las fincas que serían objeto de estudio. Se analizaron las experiencias exitosas y las fallidas sobre el tema eléctrico en el sector dentro y fuera del país tomando como año base 2013.

Se realizó una explicación detallada de lo que significa una reducción de CO₂e a la atmósfera y los cobeneficios que trae consigo el uso y disponibilidad de la energía, lo cual se encierra como una contribución derivada en una acción nacional de mitigación que se ha venido trabajando con anterioridad en el sector.



Ilustración 1 Sistemas de tratamiento en granjas porcinas en la provincia Artemisa

Se analizaron los posibles usos del biogás y la necesidad de implementar la cadena tecnológica hasta el uso final del mismo, incluyendo la oferta en el mercado de la variedad de equipos requeridos para usar esa energía de forma óptima. Este podría constituirse, a criterio de los expertos, en uno de los principales incentivos para el establecimiento de los sistemas de tratamiento de residuales en las unidades de producción porcina del país.

Diseño e implementación de la metodología para el levantamiento de la muestra con productores del país a partir de las diferentes tecnologías

Para el diseño de la metodología para este estudio se consultaron trabajos publicados a nivel internacional sobre el tema. Se evaluaron metodologías relacionadas para el análisis de las tecnologías más apropiadas para el uso del biogás con fines energéticos en el país y las consideraciones sobre el uso, tanto para calor, como electricidad, así como la posibilidad de la inserción a la red eléctrica, que luego fueron conciliadas con los expertos de la Unión Eléctrica, del Instituto de Investigaciones Porcinas y el Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía para adecuarlas a nuestro contexto.

Especial atención se le dedicó a la metodología desarrollada por RetScreen International en Canadá. La misma contiene elementos, sobre todo en el caso de los análisis económicos, que dificultan su aplicación en escenarios que no son estrictamente comerciales. Por este motivo es que el presente estudio, si bien toma como referencia a este tipo de metodologías, aplica una propia que se adapta a las necesidades nacionales.

La metodología para la realización del levantamiento se basa en la ejecución de seis pasos²:

- Determinación del potencial de producción de biogás.
- Análisis del diseño básico de la instalación de tratamiento de residuales y generación de electricidad.
- Determinación del balance energético del productor.
- Determinación de los costos de inversión.
- Determinación de los ingresos o beneficios derivados de la generación de electricidad.
- Evaluación de los indicadores económicos financieros.



Ilustración 2 Encuentros con productores y técnicos en las granjas visitadas

Para la implementación de la metodología se identificaron actividades de capacitación a través de intercambios con productores, con decisores del sector porcino y eléctrico lo que les permitieron acceder a información actualizada para conocer las oportunidades sobre el acceso a financiamiento, al mecanismo de tecnología y la organización de las

² Ver Anexos 1 y 2

diferentes modalidades de acciones de mitigación del cambio climático para invertir en el uso final del biogás

Bases para la selección de la muestra

En el estudio la muestra se ha seleccionado por métodos no probabilísticos. El procedimiento se ha basado en un proceso de toma de decisiones del grupo de expertos y de la recopilación de la información disponible del sector. Desde el enfoque cuantitativo la utilidad de una muestra no probabilística en este caso reside en la cuidadosa y controlada elección de los sujetos a encuestar, que cuentan con características definidas previamente en el planteamiento del problema. Se utiliza un muestreo por cuotas, combinado con los criterios del grupo de expertos, donde se procura que estén representadas las granjas porcinas clasificadas en pequeño, mediano y gran tamaño, que reúnan las características requeridas para el estudio: disponer de sistemas de tratamiento de residuales mediante la biodigestión y las tecnologías para la producción de biogás. Este muestreo tiene como ventaja que permite realizar un estudio exploratorio rápido y económico.

Por criterios de los expertos de la Unión Eléctrica perteneciente al Ministerio de Energía y Minas (MINEN), la región seleccionada fue la occidental, por presentar ésta un déficit en la generación de electricidad. Expertos del Instituto de Investigaciones Porcinas coincidieron en la selección de esta región, ya que representa el 40 % de la producción porcina del país, en ella están representados productores de las tres categorías (pequeños, medianos y grandes), por lo que desde el punto de vista eléctrico y coincidiendo con la política nacional, es la región priorizada para la generación de electricidad a partir de nuevas fuentes.

Levantamiento de la Información específica sobre la base de la metodología aplicada a las granjas objeto del estudio en la región occidental de Cuba

Para el levantamiento de la información se tuvieron en cuenta las principales barreras ya identificadas en estudios anteriores. También fueron identificados los posibles servicios a partir de un sistema eléctrico en cada una de las granjas visitadas. Los territorios pilotos aprobados en el estudio cumplían con la condición de tener sistemas de tratamiento de residuales en funcionamiento. Los sitios en cuestión intervenidos fueron:

En la Provincia Pinar del Río (10-11 de Mayo de 2016)

Finca Integral “Juan Pontigo”

El Convenio Porcino “Juan Pontigo” en el municipio Guane a 75 Km al oeste de la ciudad de Pinar del Río, ubicado en el Km 3 de la carretera a Portales de Guane. Una granja porcina mediante convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos para la masa porcina y el restante lo busca por vías alternativas o producción propia, en este caso específico se adquiere residuos del matadero cárnico más cercano como base proteica para una masa de 1020 animales, con un peso

promedio de 93 kg y un volumen de excretas de 465 kg/día, clasificada como una granja de gran tamaño.

Tiene instalado un nuevo sistema de residuales y la conexión de 5 biodigestores de cúpula fija, expresados en 2 biodigestores de 55 m³, 3 biodigestores de 85 m³ para una capacidad de 140 m³, con una producción de biogás por encima de 120 m³ por día, con tres lagunas a cielo abierto y un lecho de secado, no poseen sistema para la medición del gas metano, tienen en montaje dos filtros con limallas de hierro para mejorar la calidad del gas, en los momentos que se realizaba el estudio estaba en montaje 8 hornillas industriales para la cocción del alimento animal.



Ilustración 3. Convenio Integral Porcino Juan Pontigo

En el consumo de portadores energético se comportaba con un gasto en la tarifa escalonada entre 800 y 1100 kW/mes, promediando 80,00 USD/mes según la tasa de cambio aplicada al sector cooperativo, en dicha granja contaba con un molino de maíz de 20 caballos de fuerza que trabaja 2 horas diarias y procesa 2 ton/día de alimento animal, así como dos bombas eléctricas y una de diésel que trabajan de 2 a 3 horas diarias para la limpieza de las granjas, dos lámparas de patio de 250 Kw/una y un sistema de lámparas en las 7 naves con baja eficiencia energética.

El gasto energético más pronunciado fue la caldera gigante para la cocción de alimentos para la masa porcina a base de leña (7 a 8 metros cúbicos de leña) y residuos de aserradero, donde tienen un costo de transportación y compra de materia prima superior a los gastos de electricidad, por ende su primera acción fue concebir el gas para uso directo en la cocción de alimento animal en fogones industriales.

Finca Integral “La Puerta del Sabino”

La Finca Integral “La Puerta del Sabino” perteneciente a la Cooperativa de Créditos y



Ilustración 4. Sistema de tratamiento Finca “La Puerta del Sabino”

Servicios Enrique Troncoso del municipio, Los Palacios a 50 Km al este de la ciudad de Pinar del Rio, en el poblado de Paso Real de San Diego. Un granja integral (Ganadera y frutales) tienen firmado un convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos y el restante lo busca por vías alternativas o producción propia siendo esta última la fuente de alimentación mediante la siembra de tubérculos y forrajeras, para una masa de 350 animales, con un peso promedio de 93 kg, clasificada como una granja de mediano tamaño.

Posee un sistema interconectado para la evacuación de residuales de toda la granja mediante la integración de tres tecnologías para la evacuación del biogás, consistente en

tres tubulares de 8 m³ cada uno para un total de 24 m³, uno de campana flotante de 17 m³ y uno de cúpula fija de 53 m³, donde suman un total de 94 m³ interconectado, para lo cual su interconexión sirve para regular los niveles de gas producido, con una laguna a cielo abierto y un lecho de secado, con una cantidad aproximada de 48 m³ por día, no poseen sistema para la medición del gas metano, tienen un filtro con limallas de hierro para mejorar la calidad del gas y la utilización en la actualidad es para uso de cocción doméstica, alimento animal y calentar agua.

En el consumo de portadores energético se comportaba con un gasto en la tarifa escalonada entre 400 y 450 kW/mes, promediando a 8,00 USD/mes según la tasa de cambio aplicada al sector cooperativo, en dicha granja contaba con un molino forrajero pequeño que trabaja una hora diaria 0,5 ton/día de alimento animal, así como una bomba de agua que trabajan de 2 a 3 horas diarias para la limpieza de la nave, en dicha granja se pudo comprobar con las tarifas eléctrica, al usar el biogás de forma directa en la cocción y calentamiento de agua, disminuyó considerablemente la tarifca eléctrica escalonada, se prevé un crecimiento de la masa porcina, pero también un nuevo sistema de tratamiento con biodigestores para el uso directo del gas.

En la Provincia Artemisa (17-18 de Mayo de 2016):

Granja Integral “La Agustina”



Ilustración 5. Especialistas y trabajadores en la Finca “La Agustina”

La granja integral “La Agustina” perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida “Tomás Álvarez Breto” del municipio Artemisa a 50 Km al oeste de la ciudad de La Habana, en el poblado de las Cañas. Un granja integral (Porcícola y frutales) tienen firmado un convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos y el restante con alimentación propia de la finca. Para una masa de entre 150 y 250 animales, con un peso promedio 50-55 (Kg), por lo que fue clasificada como una granja de pequeño tamaño.

Posee un sistema de tratamiento de las naves porcinas que culminan en una tecnología con innovaciones en Cúpula Fija (Un tanque de aforo con un corte intermedio que sirve de tapa a la tecnología) con una capacidad de 35 metros cúbicos y con baja eficiencia en su proceso y una cantidad de biogás aproximadamente de 10 metros cúbicos/ día, no poseen laguna a cielo abierto y solo una maya o trampa para un lecho de secado, por lo que vierten a las plantaciones de plátano todo el biol de forma directa, no poseen sistema para la medición del gas metano, tienen un filtro con limallas de hierro para mejorar la calidad del gas y la utilización en la actualidad es para uso de cocción doméstica y alimento animal.

En el consumo de portadores energético se comportaba con un gasto en la tarifa subsidiada de 16 341 kW/mes, promediando a 200,00 USD/mes según la tasa de cambio aplicada al sector cooperativo, pero es válido destacar que en dichas granjas el gasto de

agua para las plantaciones son con motores de alta potencia trifásica y el kW/h aplicado es a 0.9 centavos, además la granja cuentan con un molino forrajero pequeño que trabaja una hora diaria 0,5 ton/día de alimento animal, así como una bomba de agua que trabajan de 2 a 3 horas diarias para la limpieza de la nave, en dicha granja se pudo comprobar con las tarifas eléctrica subsidiadas no ayudan a la penetración de otros usos expresada por el productor, aunque si utilizaban el biogás de forma directa en la cocción de alimentos tanto domésticos, como para alimento animal.

Finca “San Juan el Brujo”

La finca “San Juan el Brujo” perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios Fortalecida “Tomás Álvarez Breto” del municipio Artemisa a 60 Km al oeste de la ciudad de La Habana, en el poblado de las Cañas. Un granja integral (Porcícola y frutales) tienen firmado un convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos y el restante con alimentación propia de la finca. Para una masa de entre 150 y 300 animales, con un peso promedio 50-55 (Kg), por lo que fue clasificada como una granja de pequeño y mediano tamaño, por estar comprendida en las dos categorías.



Ilustración 6. Especialistas evalúan sistema de tratamiento en la Finca “El Brujo”

Posee un sistema bien diseñado para la evacuación de residuales de toda la granja mediante la canalización soterrada de los residuales que los lleva hasta una cúpula fija con un capacidad de 43 metros cúbicos, donde utilizan el biol y el abono orgánico en su propia finca después de un tratamiento adecuado, sobre todo en plantaciones de plátano y otro frutales y una cantidad de biogás aproximadamente de 15 metros cúbicos/ día, no poseen un sistema para la medición del gas metano, no poseen un filtro para mejorar la calidad del gas y la utilización en la actualidad es para uso de cocción doméstica y alimento animal, estudian exportar al gas excedente a la comunidad finca aledaña a ellos, con pequeñas inversiones (Filtros y Medidores) para mejorar la calidad del gas para la cocción doméstica.

En el consumo de portadores energético se comportaba con un gasto en la tarifa subsidiada de 15 491 kW/mes, promediando a 200,00 USD/mes según la tasa de cambio aplicada al sector cooperativo, pero es válido destacar que en dichas granjas el gasto de agua para las plantaciones son con motores de alta potencia trifásica y el kW/h aplicado es a 0.9 centavos, en la granja cuentan con un molino forrajero pequeño que trabaja una hora diaria 0,5 ton/día de alimento animal, así como una bomba de agua que trabajan de 2 a 3 horas diarias para la limpieza de las dos naves porcinas, en dicha granja se pudo comprobar la preocupación del productor con las tarifas eléctrica subsidiadas donde a futuro este incentivo podría desaparecer y por ende se preparaban para el uso del biogás en forma directa en otros usos, incluso el eléctrico a pequeña escala, donde ya tenían experiencia en la cocción de alimentos tanto domésticos, como para alimento animal y la futura incorporación de una moto bomba a biogás.

En la Provincia de Matanzas (7,8 y 9 de Junio/2016):

Unidad Empresarial Básica Frank País.

La Unidad Empresarial Básica Frank País en el municipio Martí a 100 Km al este de la ciudad de Matanzas y más de 250 Km al este de la Habana, ubicado en el Batey Hoyos Colorado en zona colindante con la provincia de Villa Clara. Una granja estatal, donde se le suministra el 100% de los alimentos para abastecer los pies de cría de ambas provincias, así como otra parte a la ceba, para una masa de 4 696 animales, con un peso promedio de 36 kg, donde cuentan con 953 reproductoras, en la pre ceba con 1 800 y en la ceba con 1 943 animales, con un volumen de excretas de 166 388 kg y de 45,839 m³ de agua residual, clasificada como una granja de gran tamaño y de las mayores en el país.

Posee un sistema único de residuales que conllevan a una tecnología de Laguna Tapada con un capacidad de 1800 m³ y un pequeño biodigestor de cúpula fija de 30 m³, con una



Ilustración 7. Visita a la UEB “Frank País” en la provincia Matanzas

producción de biogás estimada de 770 metros cúbicos por día, con dos lagunas una tapada y una a cielo abierto, así como un lecho de secado, poseen un robusto sistema para la medición del gas metano, se ha instalado un sistema de filtro industrial para la eliminación del sulfuro de hidrogeno y demás filtros intermedios para obtener un gas de calidad para su utilización en sistemas eléctricos hasta su aprovechamiento en un motor de 110 KVA instalado, el uso eléctrico se valora primeramente para el funcionamiento interno de la granja ya que posee consumos

eléctricos elevados lo cual significaría un ahorro al sistema electro energético del país, los restantes 30 m³ del biodigestor de cúpula fija son utilizados para la cocción del alimento doméstico y calentamiento de agua en la propia instalación.

En el consumo de portadores energético se comportaba entre 9000 kW/mes, promediando 600,00 y 700,00 CUP/mes lo que significa en este sector el cambio de 1 por 1, equivalente a 700,00 usd, por ser una empresa estatal se aplica la Metodología M-A Tarifa de Media Tensión con actividad cotidiana, por lo que tiene un subsidio en la tarifa eléctrica con respecto a productores privados, en dicha granja se cuenta con 10 moto bombas que trabajan de 2 a 4 horas diarias para la limpieza de las naves, así como 8 equipos electrodomésticos y 4 frigoríficos, lámparas de patio de 450 Kw/una y un sistema heterogéneo de lámparas ineficientes en las naves porcinas. Aquí es válido resaltar que dichas granjas del sector estatal no utilizan biogás para la elaboración del alimento animal, ya que su alimento es proporcionado el 100% por los suministradores del grupo porcino estatal y por ende hay un mayor excedente de gas en dichas instalaciones.

En resumen en todas las granjas visitadas, los productores manifestaron su deseo de apoyo en las actividades de capacitación y las oportunidades sobre el acceso a financiamiento, al mecanismo de tecnología y otros organismos donantes y crediticios

para obtener las posibilidades financieras y poder implementar tecnologías que conlleven a una mitigación sustantiva ante el cambio climático con un uso final del biogás como portador energético.

En todos los encuentros los productores manifestaron su deseo de apoyo en las actividades de capacitación y las oportunidades sobre el acceso a financiamiento, al mecanismo de tecnología y otros organismos donantes y crediticios para obtener las posibilidades financieras y poder implementar tecnologías que conlleven a una mitigación sustantiva ante el cambio climático con un uso final del biogás como portador energético.

A partir de los resultados obtenidos en las visitas realizadas, la información levantada y encuentros con los productores, se obtuvo el diseño de los procesos para la aplicación del estudio con los actores involucrados, y con la aplicación de la metodología establecida para el estudio y la implementación de un cronograma de visitas, se realizó el levantamiento de la información requerida en la región occidental del país. El procesamiento de la información levantada ha permitido actualizar los datos de las características de las instalaciones porcina y de sus sistemas de tratamiento, del potencial de producción de biogás y del balance energético, entre otros.



Ilustración 8. Parte del sistema eléctrico de la UEB "Frank País"

El estudio in situ permitió establecer los criterios más específicos para el establecimiento de sistemas eléctricos: potencial de generación, necesidades y condiciones de su uso, potencia nominal de los equipos, factor de carga máxima, horas pico de uso, las complejidades técnicas relacionadas con la conexión a la red o uso en las comunidades más cercanas a las granjas. El análisis de la información disponible ha permitido formular las bases para la elaboración de un diseño general del sistema de generación de energía (calor-electricidad) a partir del uso del biogás en las granjas de producción porcinas objeto de este estudio.

Este estudio constituye la base principal para la replicación de los principios generales para el diseño del sistema de generación y uso de energía, así como de las experiencias exitosas a las demás granjas que posean las potencialidades similares a las estudiadas, a partir de sistemas de tratamientos ya establecidos o por establecer, para poder aprovechar el biogás en la producción de calor y/o electricidad según la clasificación de las granjas por su tamaño.

En todos los encuentros los productores manifestaron su deseo de apoyo en las actividades de capacitación y las oportunidades sobre el acceso a financiamiento, al mecanismo de tecnología y otros organismos donantes y crediticios para obtener las posibilidades financieras y poder implementar tecnologías que conlleven a una mitigación sustantiva ante el cambio climático con un uso final del biogás como portador energético.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos en el diseño de los procesos para la aplicación del estudio con los actores involucrados, y con la aplicación de la metodología establecida para el estudio y la implementación de un cronograma de visitas, se realizó el levantamiento de la información requerida en la región occidental del país. El procesamiento de la información levantada ha permitido actualizar los datos de las características de las instalaciones porcina y de sus sistemas de tratamiento, del potencial de producción de biogás y del balance energético, entre otros.

El estudio in situ permitió establecer los criterios más específicos para el establecimiento de sistemas eléctricos: potencial de generación, necesidades y condiciones de su uso, potencia nominal de los equipos, factor de carga máxima, horas pico de uso, las complejidades técnicas relacionadas con la conexión a la red o uso en las comunidades más cercanas a las granjas.

El análisis de la información disponible ha permitido formular las bases para la elaboración de un diseño general del sistema de generación de energía (calor-electricidad) a partir del uso del biogás en las granjas de producción porcinas objeto de este estudio.

Este estudio constituye la base principal para la replicación de los principios generales para el diseño del sistema de generación y uso de energía, así como de las experiencias exitosas a las demás granjas que posean las potencialidades similares a las estudiadas, a partir de sistemas de tratamientos ya establecidos o por establecer, para poder aprovechar el biogás en la producción de calor y/o electricidad según la clasificación de las granjas por su tamaño.

Principales datos de las granjas de producción porcina en el país

El estudio eléctrico que se realiza está dirigido al completamiento de la NAMA para el sector porcino del país, que fue elaborada tomando como año base el 2013. Para el estudio se ha realizado una actualización de los principales datos de los productores porcinos del sector cooperativo campesino en el país, el cual ha tenido una dinámica ascendente en la producción. Los datos del sector estatal se mantienen como en el año base 2013. En las Tablas No.1 y No.2 se muestran los principales datos.

Tabla 1. Datos de unidades de producción y de cabezas en el sector porcino de Cuba.

Criterios	Unidades Porcinas		Cabezas de cerdo		
	Sector Estatal	Sector Cooperativo Campesino	Sector Estatal	Sector Cooperativo Campesino	Total de cabezas
Año					
2013*	129	3241	286693	510972	797665
2015**	129	4596	286693	722950	1009643

*Año base. ** Actualización

Para la actualización realizada en el año 2015 la clasificación de las unidades y el promedio de cabezas se corresponde con los datos de tabla siguiente:

Tabla 2 Unidades de producción en correspondencia con su tamaño.

Cantidad de Granjas*			Promedio de cabezas por Granja		
Pequeñas	Medianas	Grandes	Pequeñas	Medianas	Grandes
3480	861	384	100	300	875
Total : 4725			Total:425		

*Agrupamiento según tamaño de la granja

Propuesta de diseño para la generación de electricidad a partir del biogás producido en las diferentes tipos de granjas



Ilustración 9 Parte del sistema eléctrico de la UEB "Frank País"

Para el análisis de los resultados se han tomado los siguientes supuestos:

- El factor de carga máximo es del 85% (potencia de trabajo/ potencia nominal).
- Tiempo de trabajo al día con una potencia nominal que oscila entre 4 y 10 horas al día, en dependencia de las clasificaciones según el tamaño de las granjas objeto de estudio.
- El índice de generación de los motores propuesto es de 2 kWh/m³: Para granjas pequeñas y medianas los motores disponibles en el mercado (hasta 8 kVA) indican índices de consumo entre 1,2 y 1,6 kWh/m³. Para granjas clasificadas de mediana a grandes los motores disponibles serán de más potencia por lo que el índice de consumo del equipo se eleva.

- El factor de potencia al que trabajarán los motores se asume no inferior a 0.9.
- Se asume que 1 kVA es similar a 1 kW (a partir de la compensación entre el factor de carga máximo del 85% y el índice de generación asumido de 2 kWh/m³).

El análisis se realiza para las unidades de producción según su tamaño donde las granjas pequeñas tienen una producción hasta 15 m³/día, las granjas de tamaño mediano tienen una producción de biogás que oscila entre 15 y 50 m³/día y las granjas de tamaño grande tienen una producción de biogás que oscila entre 50 y 500 m³/día. Se realizó una subdivisión de las unidades medianas y grandes, según se muestra en la tabla No.3,

donde para cada subdivisión se muestra el número de cabezas y la producción de biogás en metros cúbicos diarios.

Tabla 3. Subdivisión de las unidades de producción, número de cabezas y producción diaria de biogás.

Clasificación		Cantidad de Cabezas	Producción de biogás (mínima calculada, m ³ /día)
Pequeñas ³		30-150	15
Medianas	Escala I	151-300	15-30
	Escala II	301-500	30-50
Grandes	Escala I	501-1000	50-100
	Escala II	1001-2000	100-200
	Escala III	2001-3000	200-300
	Escala IV	3001-4000	300-400
	Escala V	4001-5000	400-500

Como resultado del levantamiento y análisis realizado por el equipo de trabajo, a partir de las visitas y encuestas realizadas a las granjas pilotos objeto de estudio, se concluyó que existen necesidades energéticas que son comunes para todos los productores y otras que son específicas o diferenciadas. Entre las necesidades comunes de uso del biogás de forma directa que se aplican se encuentran:



Ilustración 10 Necesidades comunes de uso del biogás

- Cocción de alimentos para humanos.
- Cocción de alimentos para los animales (alimentos complementarios)
- Calentamiento de agua.

Entre las necesidades específicas o diferenciadas se encuentran:

- Limpieza de granjas y extracción del BIOL con motobombas a biogás.
- Electrodomésticos (Refrigeradores, Ollas de Cocción, Neveras, Calentadores de Agua) a base de biogás.

³ Para valores menores de 30 cabezas se considera cerdos de traspatio

- Iluminación con lámparas de biogás.
- Motogeneradores para la producción de electricidad.



Ilustración 11 Equipos específicos usados en las granjas porcinas

Basado en las encuestas se demostró que en los usos más relevantes prevalecía la cocción para alimentos tanto para humanos, como para animales en las granjas objeto de estudio, así como en las necesidades se demostró que los equipos con mayor uso en las granjas estaban contemplados en los motores para limpieza y en la refrigeración. Como el estudio demostró que la utilización directa del biogás resultó ser la actividad más común en todas las granjas estudiadas, el equipo consultor decidió evaluar las diferentes opciones para usos indirectos con el objetivo del aprovechamiento del biogás. Dentro de las opciones el trabajo se centró en los usos eléctricos según las clasificaciones por tamaño en las unidades, buscando las alternativas más viables (técnico-económico) para la generación de electricidad en las propias instalaciones, a partir de los equipos de uso eléctrico con mayor consumo, tales como:

1. Capacidad de generación eléctrica con y sin refrigeración. (Sólo equipos de bajo consumo) para las diferentes clasificaciones de las granjas.
2. Capacidad de generación eléctrica con cocción y sin cocción animal para granjas grandes (para las granjas pequeñas y medianas los consumos por este concepto no son significativos). En las unidades grandes del sector estatal no se requiere la cocción de alimentos para los animales, por cuanto estas reciben pienso de consumo directo, no siendo así para las unidades grandes del sector privado.

Siguiendo el análisis para las diferentes clasificaciones en cuanto al tamaño de las granjas se pudo apreciar de la siguiente manera:



Ilustración 12. Granja porcina en la provincia Artemisa

Las unidades pequeñas apenas poseen excedente de biogás para la generación de electricidad, pues lo utilizan de forma directa en la producción de calor. En caso de algún excedente se recomienda utilizarlo en motogeneradores con potencia entre 1 y 1,5 kW para generar diariamente un estimado de electricidad de 6,2kWh para alimentar la iluminación y electrodomésticos de bajo consumo.



Ilustración 13. Granja porcina en Pinar del Río

Para las unidades medianas es posible, una vez cubiertas las necesidades de uso directo del biogás, emplear el excedente para las motobombas en la limpieza diaria de la granja (ver gráfico No.2). De forma alternativa podría utilizarse el excedente de biogás en motogeneradores con una potencia entre 3 a 7 kW para generar diariamente un estimado de electricidad de 27,4 y 53 kWh. Esta electricidad generada puede ser utilizada en las motobombas, la iluminación y equipos electrodomésticos de bajo y medio consumo.



Ilustración 14. Naves de la UEB "Frank País"

Para las unidades grandes, una vez cubiertas las necesidades de uso del biogás de forma directa, se pueden instalar motogeneradores desde 10 hasta 100 kW, para generar diariamente un estimado de electricidad entre 116 y 776 kWh, la cual puede ser utilizada en las necesidades de la granja: las motobombas para la limpieza diaria de la granja, refrigeración, la iluminación (interior y exterior) y los equipos electrodomésticos.

Teniendo en cuenta tanto las necesidades comunes, como las específicas, se ha realizado un estudio con los posibles usos alternativos del biogás que pueden ser combinados según el tamaño de las granjas. Los resultados de este estudio se muestran en las tablas No.4, No. 5, No. 6 cuyos resultados se corresponden con tres variantes de diseño para el uso de la energía a partir del biogás generado. En todas las variantes se define una cantidad de biogás para uso directo que corresponde a las necesidades comunes y el excedente se utiliza para otras necesidades más específicas incluida la generación de electricidad.

Variante No. 1: Cocción, Limpieza, Calentamiento de H₂O y Refrigeración

El biogás generado se utiliza de forma directa para la cocción, motores de limpieza, calentamiento de agua y refrigeración. El excedente de biogás se utiliza para la generación de electricidad.

Los resultados del cálculo de esta variante se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4. Uso del biogás para la Variante No.1

Criterios Tamaño de la granja	Cantidad de cabezas	Prod.de biogás (m ³ /día)	Biogás para uso directo (m ³ /día)	Biogás para generación electricidad (m ³ /día)	Generación electricidad (kWh/día)	Potencia (kW) 10h/día	Potencia Motogeneradores (kW) 10 h/día
Pequeñas	30-150	15	38,1	-23,1	0	0	0
Medianas	151-300	15-30	43,5	-13,5	0	0	0
	301-500	30-50	50,7	-0,7	0	0	0
Grandes	501-1000	50-100	42	58	116	11,6	10
	1001-2000	100-200	78	122	244	24,4	25
	2001-3000	200-300	120	180	360	36	35
	3001-4000	300-400	156	244	488	48,8	50
	4001-5000	400-500	192	308	616	61,6	60

Los valores negativos (color rojo) reflejados en la columna “Biogás para generación electricidad (m³/día)” de la tabla No.4, evidencian que no es posible, para esta variante, generar electricidad en las pequeñas y medianas unidades, ya que no quedan excedentes de biogás una vez utilizado de forma directa (sólo la refrigeración requiere un volumen de 2,4 m³/h de biogás).

En el caso de las unidades grandes, si es posible, una vez cubiertas las necesidades de uso directo del biogás, la generación de electricidad ya que queda un excedente. Se pueden instalar motores con una potencia de 10 a 60 kW para la producción diaria de alrededor de 110 a 600 kWh, en correspondencia con el tamaño de la unidad.

Variante No. 2: Cocción, Limpieza, Calentamiento de H₂O

El biogás generado se utiliza de forma directa para la cocción, motores de limpieza, calentamiento de agua. En esta variante no se incluye la refrigeración para ninguna de las granjas porcinas. El excedente de biogás se utiliza para la generación de electricidad.

Los resultados del cálculo de esta variante se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 5. Uso del biogás para la Variante No.2

Criterios Tamaño de la granja	Cantidad de cabezas	Producción de biogás (m ³ /día)	Biogás para uso directo (m ³ /día)	Biogás para generación electricidad (m ³ /día)	Generación electricidad (kWh/día)	Potencia (kW) 10h/día	Potencia Motogeneradores (kW) 10 h/día
Pequeñas	30-150	15	11,9	3,1	6,2	0,62	1
Medianas	151-300	15-30	16,3	13,7	27,4	2,74	3
	301-500	30-50	23,5	26,5	53	5,3	5
Grandes ⁴	501-1000	50-100	42	58	116	11,6	10
	1001-2000	100-200	78	122	244	24,4	25
	2001-3000	200-300	120	180	360	36	35
	3001-4000	300-400	156	244	488	48,8	50
	4001-5000	400-500	192	308	616	61,6	60

Del análisis de los datos se puede concluir que en las unidades pequeñas el excedente de biogás se puede utilizar en motogeneradores de 1 kW para la producción de unos 6 kWh/día de electricidad. En las unidades medianas el excedente de biogás se puede utilizar en motogeneradores de 3-5 kW para la producción de unos 25-50 kWh/día de electricidad.

En las granjas grandes incluidas en esta variante (sector no estatal), al no recibir pienso de forma directa, tienen que usar parte del biogás producido para la cocción del alimento animal. No obstante, todavía consiguen tener un excedente de producción de biogás por lo que se pueden instalar motores de una potencia que pueden alcanzar hasta 60 kW en las granjas con mayor potencial. Con esto se garantiza una producción diaria de electricidad que puede llegar a los 616 kWh. Además en dichas unidades, al igual que para las granjas incluidas en la variante No.3 es posible el uso de biogás para una gama más amplia de equipos, incluidos los de refrigeración y otros de alto consumo.

⁴ No incluye las granjas grandes estatales

Variante No.3: Limpieza, Calentamiento de H₂O

El biogás generado se utiliza de forma directa en motores de limpieza y el calentamiento de agua no se incluye la refrigeración, ni la cocción de alimentos. En esta variante solo se incluyen las granjas grandes estatales donde se le suministra el 100% de alimento a la masa porcina por lo cual no necesita el uso de biogás para la cocción de alimento. El excedente de biogás se utiliza para la generación de electricidad en primera instancia dentro de la propia instalación, el excedente de electricidad será estudiado caso a caso para suministrar su entrega al SEN.

Los resultados del cálculo de esta variante se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 6. Uso del biogás en la Variante No.3

Criterios Tamaño de la granja	Cantidad de Cabezas	Producción de biogás (m ³ /día)	Biogás para uso directo (m ³ /día)	Biogás para generación eléctrica (m ³ /día)	Generación eléctrica (kWh/día)	Potencia (kW) 10h/día	Potencia Motogeneradores (kW) 10 h/día
Grandes ⁵	501-1000	50-100	42	58	116	11,6	10
	1001-2000	100-200	46	154	308	30,8	30
	2001-3000	200-300	72	228	456	45,6	50
	3001-4000	300-400	92	308	616	61,6	60
	4001-5000	400-500	112	388	776	77,6	80

El análisis de los datos indica que al no usar el biogás para la cocción de alimento animal en estas granjas grandes (estatales), se pueden instalar motores de una potencia mayor (hasta 80 kW) en las granjas con mayor potencial por lo que la producción de electricidad diaria pudiera llegar a los 776 kWh, con el objetivo de cubrir su demanda interna.

⁵ Granjas grandes estatales

3. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA ECONÓMICO DE LAS VARIANTES PROPUESTAS PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO EN LAS GRANJAS PORCINAS

Una vez diseñadas las distintas variantes de sistema eléctrico para las granjas porcinas el siguiente paso es establecer ,aunque sea de manera preliminar, la viabilidad técnico económico de las opciones propuestas para el uso en la generación de electricidad del biogás producido en las instalaciones anaeróbicas de tratamiento de residuales a instalar por productores porcinos para cumplir con las regulaciones nacionales existentes en relación con el impacto ambiental de esta actividad productiva.

El estudio se realiza a partir de los criterios establecidos con anterioridad:

- La agrupación de los productores de acuerdo a la cantidad de animales en tres categorías: pequeños, medianos y grandes para cada una de las cuales se define la tecnología de reactor anaeróbico para el tratamiento de los residuales.
- El uso directo de una parte del biogás producido para la producción de calor, el accionamiento de motores de combustión interna y la refrigeración.

Al considerar los beneficios económicos del uso del biogás producido, solo se consideran los asociados a la generación de electricidad.

Entre los beneficios económicos no considerados están los asociados al uso del bio-oil, el bioabono y el uso directo del biogás con fines energéticos. Se puede afirmar que la consideración de los mismos daría lugar a resultados de viabilidad económica aun superiores a los que se obtienen en este reporte.

Descripción de la solución tecnológica

La solución tecnológica considerada en este informe parte de la utilización de sistemas anaeróbicos de tratamiento de residuales para reducir la carga contaminante de los mismos hasta niveles aceptables según las normas establecidas.

Estas tecnologías cuentan con una larga experiencia para los casos de Tubular y Cúpula Fija en Latinoamérica y las lagunas tapadas con experiencias comerciales en crecimiento en países de la región como Estados Unidos de América, México, Salvador, Colombia y Brasil. La tecnología utilizada para el tratamiento anaeróbico depende del número de cerdos con que cuenta la instalación (Tabla 7).

Clasificación	Cantidad de animales		Tipo de biodigestor
	Rango		
Pequeñas	0	150	Tubular
Medianas	151	300	Cúpula fija
	301	500	Cúpula fija
Grandes	501	1 000	Laguna tapada
	1 001	2 000	Laguna tapada
	2 001	3 000	Laguna tapada
	3 001	4 000	Laguna tapada
	4 001	5 000	Laguna tapada

Tabla 7. Instalaciones y tipo de tratamiento anaeróbico

El biogás producido requiere ser tratado en el sistema de limpieza y preparación en el cual se separa el agua y el HS contenido en el gas y adicionalmente se instala un quemador de seguridad para quemar directamente el gas en caso de sr necesario.

Se prevé que una parte del gas producido se emplee directamente y el resto se destina a la generación de electricidad. Tabla 8

Categoría de la granja	Fracción
Pequeñas	21 %
Medianas	53 %
Grandes	60 %

Tabla 8. Fracción del biogás producido destinado a la generación de electricidad

El gas que se utiliza directamente se consume en un grupo de equipos que sustituyen consumo de electricidad y el otro grupo de equipos que sustituye el uso de otros combustibles. En el primer caso se encuentran las cocinas domésticas, los refrigeradores y las motobombas para bombeo de agua, el otro grupo incluye, calentadores de agua, cocinas industriales, etc.

La generación de electricidad se realiza por medio de grupos electrógenos a gas y se prevé que se priorice el autoconsumo de la electricidad generada en la propia instalación productiva. La solución tecnológica (fig. 1) prevé que en caso necesario el exceso de electricidad pueda ser entregada la red eléctrica por medio de un equipo de sincronización y los dispositivos adecuados con este fin.

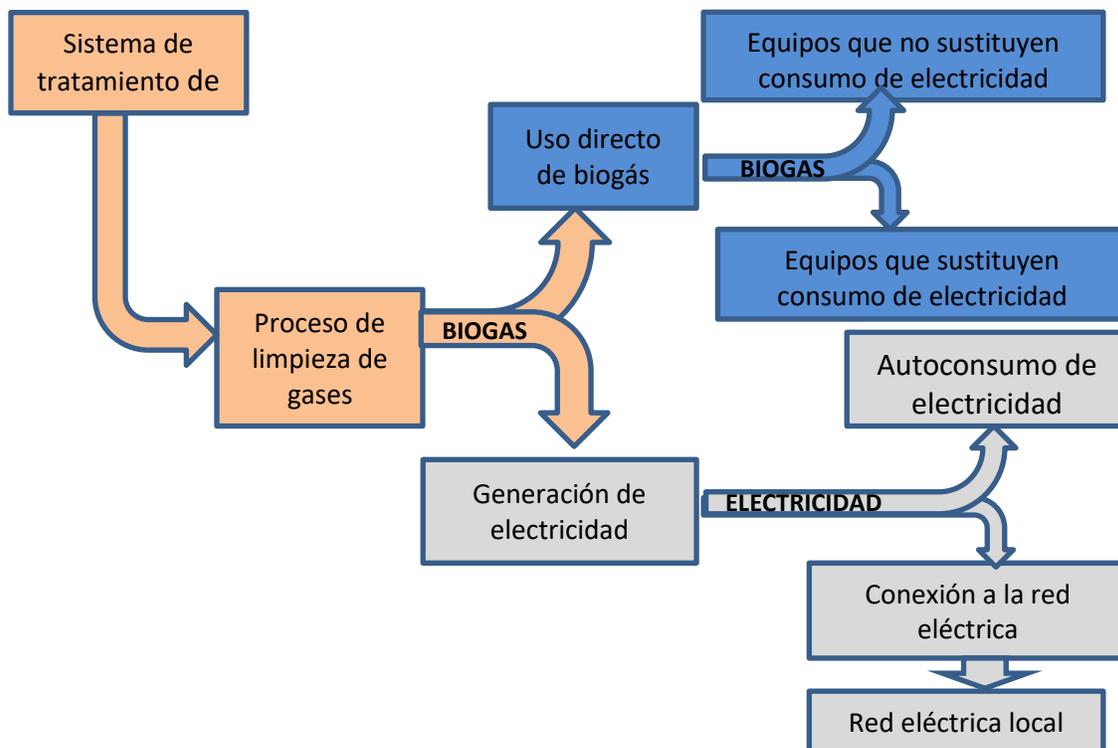


Figura 1. Esquema de solución tecnológica

En relación con la capacidad de los generadores eléctricos a instalar y la cantidad de electricidad que se espera generar en un régimen de trabajo de 10 h/d, se utilizan los resultados obtenidos en el producto 4 (tabla 9).

Tabla 9. Generación de electricidad

Clasificación	Generación electricidad	Potencia eléctrica	Cantidad de productores	Potencia instalada	Generación de electricidad.
	kWh/d	kW	Un	kW	kWh/d
Pequeñas	10	1	3480	3480	34800
Medianas	50	5	861	4305	43050
Grandes	116	11.6	50	500	5800
	244	24.4	50	1500	12200
	360	36.0	50	2500	18000
	488	48.8	50	3000	24400
	616	61.6	180	14400	110880
		Totales	4721	29685	249130

Si bien la potencia a instalar (29,6 MW) no es significativa a nivel de país, la electricidad que se calcula se generaría (249,1 GWh/d) es significativa en comparación con el consumo estimado de este portador energético por los mismos productores.

Costos

Los costos que se consideraron para el análisis preliminar de la viabilidad económica de estas inversiones, son los siguientes:

Costos de inversión

Estos costos incluyen:

- Costos del sistema de tratamiento de residuales.
- Costo del equipamiento para el tratamiento y preparación del biogás y para su uso directo y en la generación de electricidad.

Estos costos se determinaron a partir de consultas a ofertas comerciales con precios referenciales, búsquedas en sitios comerciales en internet y el criterio de los especialistas del grupo de bioenergía en Cubaenergía y otros expertos nacionales. Los mismos incluyen los costos en construcción y montaje y otros gastos como los relacionados con servicios de ingeniería, asistencia técnica, obtención de permisos, etc.

Considerando que las regulaciones actuales en el país hacen obligatorio el uso de sistemas de tratamientos de residuales por parte de los productores porcinos, se establecieron dos variantes (tabla 10) para el análisis de los costos de inversión.

La variante 1, que incluye el costo de los sistemas de tratamiento de residuales y que reflejaría cuanto mejoraría la inversión a fondo perdido en el sistema de tratamiento al realizar una inversión adicional que permita obtener beneficios económicos a partir de la generación de electricidad. La variante 2, que no incluye los costos del sistema de tratamiento, corresponde al enfoque en que se acepta esa inversión a fondo perdido y se analiza solo la rentabilidad de la inversión que se realiza para el aprovechamiento del biogás.

Tabla 10. Componentes de los costos de inversión

Criterios de inversión		Variante 1	Variante 2
Sistema de tratamiento de residuales		X	
Sistema de captación y preparación de biogás		X	X
Uso directo térmico	Sustituyen demanda de electricidad	X	X
	No sustituyen demanda electricidad	X	X
Para la generación de electricidad		X	X

El valor de los costos de inversión para cada caso asciende a 119,11 millones USD (tabla 11). y 54.37 millones USD (tabla 12) respectivamente.

Tabla 11. Costo de Inversión: Caso 1*

Componente de la inversión		Pequeño (MMM)	Mediano (MMM)	Grande (MMM)	Total USD (MMM)
Sistema de tratamiento de residuales		15.660.000	12.915.000	36.174.600	64.749.600
Sistema de captación y preparación de biogás		1.050.960	542.430	24.116.400	25.709.790
Uso directo térmico	Sustituyen demanda de electricidad	1.033.200	456.000	5.665.200	5.665.200
	No sustituyen demanda electricidad	312.120	880.800	2.029.320	1.255.520
Para la generación de electricidad		5.568.000	2.324.700	13.073.000	20.965.700
Total, de inversión		27.291.360	17.127.450	74.700.800	119.119.610

***(Incluye sistema de tratamiento de residuales)**

Tabla 12. Costo de Inversión: Caso 2 *

Componente de la inversión		Pequeño (MMM)	Mediano (MMM)	Grande (MMM)	Total USD (MMM)
Sistema de captación y preparación de biogás		1.050.960	542.430	241.16.400	25.709.790
Uso directo térmico	Sustituyen demanda de electricidad	1.033.200	456.000	5.665.200	5.665.200
	No sustituyen demanda electricidad	312.120	880.800	2.029.320	1.255.520
Para la generación de electricidad		5.568.000	2.324.700	13.073.000	20.965.700
Total, de inversión USD		11.631.360	4.212.450	38.526.200	54.370.010

***(No incluye sistema de tratamiento de residuales)**

Costo de operación

Teniendo en cuenta el alcance de esta evaluación preliminar los componentes de costo que se consideran son los siguientes:

- Salarios y prestaciones
- Materiales e insumos
- Gastos en mantenimiento

Salarios y prestaciones

Se establece que cada instalación será atendida por un trabajador con la categoría de ayudante de operador (grupo escala VIII).

El cálculo de los salarios y las prestaciones (tabla 13) se realizó usando el salario promedio anual del total de los trabajadores y para todas las alternativas usando el grupo escala correspondiente según las regulaciones cubanas. Se tomó un aporte a la seguridad social de 14 % y un 25 % por impuesto sobre la fuerza de trabajo.

Tabla 13. Salario y prestaciones

Componente	Valor (USD)		
	Pequeña	Mediana	Grande
Salario total de personal	666.489,60	164.898,72	72.777,60
Seguridad social (14%)	93.308,54	23.085,82	10.188,86
Impuesto s/FT	166.622,40	41.224,68	18.194,40
Total USD	926.420,54	229.209,22	101.160,86

Materiales e insumos

Los materiales e insumos están relacionados con el funcionamiento de los motogeneradores y los medios de uso y protección de los trabajadores. Se agrupan en las siguientes categorías: aceite para motor, ropa, calzados y medios de protección como gafas, guantes y cascos.

Gastos en mantenimiento

El cálculo de los gastos en mantenimiento se realiza utilizando el método de establecer un coeficiente de gastos de mantenimiento de acuerdo con los requerimientos para mantener el equipo dentro de sus parámetros de trabajo. Este coeficiente expresa la relación entre los gastos anuales de mantenimiento y el precio del equipo.

La planificación del mantenimiento y las reparaciones se contempló un índice (ver tabla 14) que sus valores oscilan entre 1% y 3 % según el equipo. Solamente el motogenerador su valor es de 10%.

Tabla 14. Índice de mantenimiento

Equipos	Índice de mantenimiento
Sistema de tratamiento de residual	0,01
Cocina doméstico a biogás	0,01
Quemadores industriales a biogás	0,01
Calentadores de agua a biogás	0,01
Motobombas horizontales a biogás	0,02
Equipos de refrigeración a biogás	0,02
Sincronizador a la red	0,01
Motogeneradores	0,1
Equipos auxiliares para uso de biodigestores	0,03

Resumen de los costos de operación

Los costos de operación para cada una de las categorías se resumen en la tabla 15

Tabla 15. Costo de operación en USD

Clasificación	Salarios y prestaciones	Materiales e insumos	Mantenimiento	Total USD
Pequeñas	926.420,54	243.600	835.072,8	2.005.093,3
Medianas	229.209,22	60.270	404.691,6	694.170,8
Grandes	13.310,64	5.362	176.351,5	195.024,4
	13.310,64	5.362	215.706,0	234.378,9
	13.310,64	5.362	337.722,5	356.395,4
	13.310,64	5.362	348.976,0	367.648,9
	47.918,30	36.734	1.338.120,0	1.422.772,7
Total USD	1.256.790,63	362.053	215.706,0	5.275.484,3

Ingresos

Los ingresos y/o beneficios de una instalación de biogás son múltiples, aunque su cuantificación económica no siempre es posible realizar con precisión.

Entre estos beneficios se encuentran:

- a. Uso de los efluentes como biofertilizante y mejoradores de suelo.
- b. Sustitución del uso de otros combustibles en la generación de calor y el accionamiento mecánico.
- c. Ahorro de electricidad por la sustitución de equipos eléctricos para la refrigeración y la cocción de alimentos utilizando equipos similares accionados por biogás.
- d. La disminución del consumo de electricidad de la red o la venta de electricidad a la misma.

Teniendo en cuenta el alcance de este estudio solo incluiremos como beneficios económicos los asociados a la generación y uso de la electricidad.

La cuantificación de estos beneficios se realiza para dos beneficiarios:

A. Caso 1. Beneficio productor.

Teniendo en cuenta la premisa del estudio de maximizar el autoconsumo de la electricidad generada por los productores, se considera como beneficio el costo evitado de haber tenido que consumir la electricidad generada de la red eléctrica. En este caso es necesario utilizar la tarifa eléctrica para el consumidor residencial (Tabla 16), que es la aplicable en este caso. Esta es una tarifa creciente, diseñada para desestimular los altos consumos de electricidad

Tabla 16. Tarifa eléctrica sector residencial

Rango de consumo (kWh)	Tarifa	
	CUP/kWh	USD/kWh
0-100	0.09	0.004
101-150	0.3	0.01
151-200	0.4	0.02
201-250	0.6	0.02
251-300	0.8	0.03
301-350	1.5	0.06
351-500	1.8	0.07
501-1000	2	0.08
1001-5000	3	0.12
Mayor de 5000	5	0.20

B. Caso 2. Beneficio país.

Este es el caso en que se considera como beneficio el valor de las importaciones en combustible que se realizan para la generación de electricidad. Se le conoce como costo evitado y en las condiciones actuales se estima en 0,14 USD/kWh. En la tabla 17 se muestran los ingresos calculados para cada uno de estos casos

Tabla 17. Ingresos por electricidad generada

Clasificación	Caso 1 Productor	Caso 2. País
	USD	USD
Pequeñas	315.705,60	1.753.920
Medianas	6.388.895,52	2.169.720
Grandes	501.576,00	292.320
	1.378.056,00	614.880
	1.619.016,00	907.200
	2.079.816,00	1.229.760
	9.146.217,60	5.588.352
Total	21.429.282,72	12.556.152

Análisis Económico

Dado el carácter preliminar de este análisis y que su alcance es de viabilidad económica, no se realiza el análisis financiero de esta inversión. Por este motivo se utiliza como indicador de viabilidad económica solamente el Periodo de Recuperación simple. En este caso se calcula como el tiempo que se requiere para que el acumulado de los beneficios económicos netos anuales se igualen al costo de inversión.

El cálculo del Periodo de Recuperación simple se realiza a partir de los resultados mostrados anteriormente. Se calcula por separado para la variante que considera los gastos en el sistema de tratamiento de residuales y para la que no lo incluye. En cada variante se realizan los cálculos del ingreso por la generación de electricidad tanto para el productor (caso 1) como para el país (caso 2).

Tabla 18. Resultado del análisis económico

Componente (millones USD)	Variante 1		Variante 2	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Costo de inversión	119,11	119,11	57,18	57,18
Ingreso	21,42	12,55	24,44	14,73
Gasto	5,27	5,27	4,68	4,68
Ingreso-Gasto	16,15	7,28	19,76	10,05
Recuperación de la inversión (años) Costo de inversión dividido entre el ingreso y gasto	7,37	11	2,75	5,41

Los resultados obtenidos de este análisis muestran que en general el plazo de recuperación de la inversión calculado de manera simple tiene valores aceptables tanto para el productor (2,7 a 7,4 años) como para el país (5,4 a 11 años).

Es un factor positivo el hecho de que este tipo de inversión puede resultar atractiva para el productor porcino si considera como ingresos de la inversión los ahorros que obtiene al no tener que consumir la electricidad generada de la red eléctrica.

CONCLUSIONES

Entre los distintos elementos a tener en cuenta para el diseño energético de uso del biogás para las unidades de producción porcina del país se deben tener los siguientes:

1. En las unidades de producción porcina el volumen de biogás que se produzca debe ser utilizado en las granjas de forma directa (calor) para cubrir las necesidades energéticas de los productores.
2. En caso de haber excedentes para la producción de electricidad esta debe ser consumida en las propias unidades. En los casos en que la producción de electricidad supere las necesidades de las granjas puede estudiarse la posibilidad de su entrega al Sistema Electroenergético Nacional (SEN).
3. Las necesidades comunes para las unidades de uso directo del biogás son cocción, limpieza de naves y calentamiento de agua. Esto arroja una necesidad de equipamiento que se muestra en forma de tabla a continuación.

Tabla 19. Equipos para la utilización del biogás de forma directa

Clasificación	Quemadores industriales**		Fogones domésticos biogás	Ollas de presión a biogás	Motobombas Horizontales	Calentadores de agua
	3 pies	4pies				
Pequeñas	6980	----	3480	3480	3480	3480
Medianas	----	3444	861	861	1722	861
Grandes*	----	4080	384	384	1920	384

* Solo se tuvieron en cuenta las granjas de gran tamaño que necesitan biogás cocción para alimento animal.

** Se tiene en cuenta que un quemador de 3 pies es para 70 cabezas y uno de 4 pies es para 100 cabezas.

Se tuvieron en cuenta las tres clasificaciones de las granjas para una propuesta de los diferentes equipos que responden al uso directo del biogás como propuesta al diseño energético en todas las granjas que comprende la División Tecnológica Porcina perteneciente al Grupo Nacional Ganadero del Ministerio de la Agricultura en el país, donde el ahorro de portadores energéticos estimado sería de 295 MWh/día, basado en la utilización de equipos que sustituyen electricidad en la cocción, el fregado de las naves y calentamiento de agua.

4. Una vez cubiertas las necesidades comunes se dispone de un excedente de biogás que puede ser empleado para la generación de electricidad para su autoabastecimiento y alguna posibilidad para la entrega al SEN, como lo demuestra el convenio integral Martí. El análisis arroja que podrían requerirse unos 4700 motogeneradores de diferentes potencias para las unidades de distinto tamaño. Los siguientes datos de la tabla No. 9 están basados en la propuesta para el Programa

Nacional Porcino bajo la dirección de la División Tecnológica Porcina perteneciente al Ministerio de la Agricultura:

Tabla 20. Motogeneradores eléctricos a base de biogás

Criterios Tamaño de la granja	Potencias de los Motogeneradores (kW)	Cantidad de motores (Unidades)	Potencia instalada (kW)	Generación eléctrica (kWh/d)*
Pequeñas	1	3480	3480	21576
Medianas	3-5	861	4305	23591
Grandes	10	50	500	5800
	30	50	1500	15400
	50	50	2500	22800
	60	50	3000	30800
	80	180	14400	139680
Totales		4721	29.685	259.647

*Los motores tendrán un uso de 10 horas al día.

La instalación de los 4721 motogeneradores con las potencias señaladas en la tabla podrían producir 94,8 GWh/año de electricidad, suponiendo 10 h diarias de trabajo de los motores. Esta energía estaría destinada al consumo eléctrico en las propias granjas o comunidades aledañas. Esto representa el 0,5% de la energía eléctrica producida en el país en el año 2015.

Las unidades de producción grandes podrían requerir hasta unos 768 sistemas de refrigeración alimentados a gas.

5. La utilización del gas metano para la producción de calor/electricidad en las propias granjas aportan ahorros financieros sustantivos a los productores y al país ya se dejarían de consumir de la RED, de forma directa o indirecta, alrededor de 40 MWh/año. Esto, a su vez, contribuye a la reducción de emisiones de CO₂: debido a los ahorros en combustibles que se utilizan para generar la electricidad en el país se dejarían de emitir cerca 538 000 toneladas de CO₂e.

6. Teniendo en cuenta que, debido al alcance del estudio, no se consideraron otros beneficios económicos que no fueran los asociados a la generación de electricidad, la rentabilidad de la inversión en un análisis más detallado debe conservarse igualmente atractiva. Por este motivo la principal limitante para su implementación práctica lo constituye los altos costos de inversión (119 millones USD, incluyendo los sistemas de tratamiento de residuales; o 57,3 millones USD de considerar solo los sistemas para el aprovechamiento energético del biogás producido) asociados al mismo como programa inversionista.

RECOMENDACIONES

Según los criterios de expertos y técnicos se recomienda en la actualidad, no invertir en la generación con biogás con el interés único o principal de entregar energía a la red nacional, SINO SU APROVECHAMIENTO DE FORMA DIRECTA Y EL EXCEDENTE ELECTRICO EN LAS PROPIAS INTALACIONES.

Recomendar a instancias superiores de los diferentes Organismo de la Administración Central del Estados (OACEs) a constituir un equipo multidisciplinario para elaborar una estrategia de incentivos de incorporación de las Fuentes Renovables de Energía (biogás específicamente) en el cliente final.

Recomendar al MINAG de conjunto con el CITMA la identificación de fondos financieros climáticos (Créditos, Donaciones, etc.) para lograr la implementación de la NAMA porcina

ANEXOS

ANEXO 1. Metodología para la realización de un levantamiento a una muestra representativa de productores del país, en los temas del uso eléctrico del biogás

La metodología para la realización de un levantamiento a una muestra representativa de productores del país, en los temas del uso eléctrico del biogás, se basa en la ejecución de seis pasos:

Paso No. 1. Determinación del potencial de producción de biogás.

Descripción:

- a. Se determina a partir del tipo de animal y la composición por peso de la masa porcina.
- b. Se identifica el tipo de granja y se clasifica (en dependencia de la cantidad de cerdos) en: -pequeña-, -mediana- o -grande-.
- c. Se establecen los indicadores de producción de biogás por peso del animal y volumen de excreta.

Información solicitada (Anexo No. 2): Número de animales; peso promedio por categorías; volumen de excretas, etc.

Fuente de Información: Productores agrícolas y técnicos encargados en las granjas.

Paso No. 2. Análisis del diseño básico de la instalación de tratamiento de residuales y generación de electricidad.

Descripción:

Los elementos básicos del diseño son:

- a. Tecnología del biodigestor,
- b. Sistema de manejo de los gases,
- c. Sistema de consumidores directos del biogás
- d. Sistema eléctrico,

a. Tecnología del biodigestor:

El volumen y tipo de excretas determina el tipo de tecnología de biodigestor a utilizar. Los criterios que se emplean en este estudio son:

1. Digestores tubulares (para el caso de pequeña escala).
2. Digestores cúpula fija (para pequeña y mediana escala).
3. Digestores lagunas tapadas (para mediana y gran escala).

b. Sistema de manejo de los gases:

Incluye:

1. Filtro
2. Soplador
3. Regulador
4. Otros sistemas de limpieza
5. Sistemas de medición

En dependencia de la complejidad del sistema se incluyen las tecnologías. Para el caso de las instalaciones grandes se emplearan todo el sistema, para las medianas y pequeñas se valora cuáles son las tecnologías necesarias.

c. Sistema de consumidores directos del biogás:

- Se analizarán las capacidades de generación de biogás y;
- Las necesidades de consumo del biogás de forma directa en las instalaciones de los productores (cocción, alumbrado, frío, etc.)

Información solicitada (Anexo No. 2): Volumen de biogás a producir, consumo directo de biogás.

Fuente de Información: Productores agrícolas, técnicos encargados en las granjas, equipo de consultores del proyecto.

d. Sistema eléctrico:

1. Capacidad de generación de electricidad.
2. Opción de conexión a la red eléctrica.

Información solicitada (Anexo No. 2): Volumen de biogás a producir; eficiencia de generación de electricidad de grupo electrógeno a gas; horas diarias de generación de electricidad; Criterios de expertos sobre la conexión a la red o no.

Fuente de Información: Productores agrícolas, técnicos encargados en las granjas, expertos en temas eléctricos, equipo de consultores del proyecto.

Paso No. 3. Determinación del balance energético del productor.

Descripción:

Los elementos básicos del diseño son:

1. Determinación del balance del gas producido y su destino.
2. En dependencia del tamaño de la granja porcina y la cantidad del biogás producido se pueden dar las situaciones siguientes:
 - Todo el biogás se consume de forma directa en las instalaciones del productor,
 - Se dispone de biogás para la producción de electricidad. En este caso se pueden dar dos situaciones:
 - Toda la electricidad que se produce se consume internamente en las instalaciones del productor,
 - Toda o parte de la electricidad producida se suministra a la red eléctrica.

En correspondencia con lo anterior se deberá determinar: características del motor eléctrico a instalar y si va conexión a red o no.

- a. Uso directo del biogás (calor, otros usos), electricidad

Información solicitada (Anexo No. 2): Volumen de biogás a producir; eficiencia de generación de electricidad de grupo electrógeno a gas; horas diarias de generación de electricidad; conexión o no a la red.

Fuente de Información: Productores agrícolas, técnicos encargados en las granjas, expertos en temas eléctricos, equipo de consultores del proyecto.

Paso No. 4. Determinación de los costos de inversión.

Descripción:

- a. Valoración y cálculo preliminar de los costos de cada una de las tecnologías propuestas: Tecnología del biodigestor, sistema de manejo de los gases, sistema de consumidores directos del biogás, sistema eléctrico. Para el trabajo objeto del contrato con OLADE se analizarán solamente los costos del sistema eléctrico

Información solicitada (Anexo No. 2): Costo de los motores, sistemas de interconexión y elementos incorporados.

Fuente de Información: Ofertas comerciales, datos de referencia para inversiones de este tipo.

Paso No. 5. Determinación de los ingresos o beneficios derivados de la generación de electricidad.

Descripción:

A. Producción, consumo y entrega de electricidad:

1. Se calcula el volumen de electricidad que se genera.
2. Se establece el consumo de electricidad del productor:
 - Si está conectado a la red, se utiliza la factura eléctrica del último año,
 - Si no está conectado se realiza una estimación del consumo del equipamiento que se instalaría por el productor,
3. Se verifica en caso de no estar conectado a la red que la máxima demanda de electricidad pueda ser cubierta por la capacidad de generación instalada,

B. Cálculo de los beneficios:

1. Los beneficios generales se determinan por:
 - Ahorros económicos por generación de electricidad evitada,
 - Reducciones de emisiones de GEI producto del tratamiento de residuales con aprovechamiento energético,
 - Cobeneficios a partir de la reducción de la contaminación local,

2. Para el productor los beneficios se determinan por:
- Ahorros por generación propia,
 - Los ingresos por entrega a la red,

Información solicitada (Anexo No. 2): Caracterización integral de la granja; factura eléctrica y/o ficha de consumo de los equipos del productor; índices de generación de electricidad para cada uno de los Motogeneradores; índices de generación de metano.

Fuente de Información: Equipo de consultores del proyecto.

Paso No. 6. Evaluación de los indicadores económicos financieros

Descripción:

Se utilizaran como indicadores económicos financieros:

- Tasa interna de retorno,
- Valor Actual Neto,
- Plazo de retorno de la inversión,

Fuente de Información: Equipo de consultores del proyecto,

ANEXO 2. Resultados de las encuesta aplicadas en los sitios de intervención

Encuesta No. 1

Granja: Juan Pontigo Rodríguez. **Provincia:** Pinar del Río. **Municipio:** Guane. **Consejo Popular:** Guane1. **Productor:** Juan Pontigo Rodríguez

Descripción del Sistema de Tratamiento actual: Instalación de un nuevo sistema de residuales mediante 5 biodigestores de cúpula fija con capacidad de 140 m³, con tres lagunas a cielo abierto y un lecho de secado.

Indicadores	Un granja porcina mediante convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos y el restante lo busca por vías alternativas
No. De Cerdos.	1020 total
Clasificación	Reproductoras: <u>20</u> Pre ceba: _____ Ceba: <u>1000</u>
Peso promedio de la masa (Kg)	93 (Kg) como peso promedio.
Volumen de las excretas en la granja (Kg/día). "Volumen de Agua"	465kg/día
Tecnología del biodigestor	Tubular: _____ Cúpula fija: _____ x _____, Laguna tapada: _____ Otros: _____
Capacidad del digestor (m ³)	2 biodigestores de 55 m ³ , 3 biodigestores de 85 m ³ para un total de 140 m ³
Cantidad de biogás Producido (m ³ /día)	Aún no producen gas metano, ya que están en proceso de puesta en marcha 5 biodigestores de cúpula (total 140m ³)

Tipo de sistema de Medición de Gas	No posee sistema de medición del gas
Posee sistemas de Filtros u otros en la cadena del biogás (Relacionar cada uno de ellos)	Están en construcción y montaje, filtros de limallas de hierro.
Utilización del biogás (m ³)	Cocción: _____ Equipos: _____ Otros: _____ No utilizan aún el biogás
Consumo eléctrico (promedio de consumo de los últimos 12 meses) Comprobante de la UNE (KWh)	Oscila entre 800 y 1100 kW/mes, promediando 1600,00 y 2000,00 CUP x mes, Equivalente a 80,00 USD/mes
Equipos de Alto consumo eléctrico (+ 1kW) (Relacionar cada uno y su consumo)	Molino de maíz de 20 caballos de fuerza que trabaja 2horas diarias y muele 2 ton/día. Dos Bombas de Agua que trabajan de 2 a 3 horas diaria. Dos lámparas de patio de 250 W cada una.
Equipos de Combustión (Relacionar cada uno y su consumo)	Motor de combustión interna (Diesel) marca Lombardine (fabricación Italiana)
Distancia de la red eléctrica (Km)	0 KM, Está en el mismo patio de la granja. No poseen un servicio trifásico para los motores de potencia que tienen en la granja.
Cantidad de horas al día donde se produce alto consumo de energía eléctrica (h)	En el horario de la mañana entre 09:00 horas y las 11:30, donde se friegan las naves de cerdos y se tritura el alimento forrajero
Coordenadas georeferenciales de la granja.	

<p>Poseen otra masa que no sea cerdos (Identificar y números de animales)</p>	<p>No poseen otra masa animal</p>
<p>Otros datos</p>	<p>Tanque elevado de 30 000 litros de agua</p> <p>Total de animales 1000 con proyecciones de crecer en 2000</p> <p>Son 7 naves en total distribuidas en 6 de ceba y una para reproducción</p> <p>Utilizan una caldera gigante para la cocción de alimentos para la masa porcina a base de portadores energético de leña (7 a 8 m³de leña) y residuos de aserradero, donde tienen un costo de transportación y compra de materia prima alrededor de 700,00 USD/mes</p>

Encuesta No. 2

Granja: Finca Integral “La Puerta del Sabino”. ⁶**Provincia:** Pinar del Río. **Municipio:** Los Palacios. **Consejo Popular:** Paso Real. **Productor:** Leonel Mayea Álvarez

Descripción del Sistema de Tratamiento actual: Posee un sistema interconectado para la evacuación de residuales de toda la granja mediante la integración de tres tecnologías para la evacuación del biogás, consistente en tres tubulares, uno de campana flotante y uno de cúpula fija, para lo cual su interconexión sirve para regular los niveles de gas producido.

Indicadores	Granja integral (Ganadera y frutales). Tienen firmado un convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos y el restante lo busca por vías alternativas.
No. De Cerdos.	Oscilan entre 330 y 350 total
Clasificación	Reproductoras: <u>20</u> Pre ceba: <u>150</u> Ceba: <u>150</u> Sementales: <u>2</u>
Peso promedio de la masa (Kg)	93 (Kg) como peso promedio.
Volumen de las excretas en la granja (Kg/día). “Volumen de Agua”	
Tecnología del biodigestor	Tubular: <u>3</u> x <u>8</u> Cúpula fija: <u>1</u> x <u>53</u> , Laguna tapada: <u>1</u> Otros: <u>1</u> <u>campana Flotante</u> 8 m ³ 53 m ³ 17 m ³
Capacidad del digestor (m ³)	La instalación interconectada de las tres tecnologías suman un total de 94 m ³
Cantidad de biogás Producido (m ³ /día)	Por métodos aleatorios la cantidad de biogás producido es de 48 m ³

⁶ Pertenece a la CCS “Enrique Troncoso”

Tipo de sistema de Medición de Gas	No hay sistema de medición	
Posee sistemas de Filtros u otros en la cadena del Biogás (Relacionar cada uno de ellos)	Posee un filtro rústico con limalla de hierro, que se cambia una vez al año, según diálogo con el productor.	
Utilización del biogás (m ³)	Cocción: <u> </u> x <u> </u> Equipos: Dos fogones y Calentador de Agua Otros: <u> </u>	
Consumo eléctrico (promedio de consumo de los últimos 12 meses) Comprobante de la UNE (KWh)	Oscila entre 400 y 450 kW/mes, promediando 200 CUP x mes, Equivalente a 8,00 USD/mes	
Equipos de Alto consumo eléctrico + 1KW. (Relacionar cada uno y su consumo)	Aires acondicionados: <u>3</u> Neveras: <u>1</u> Refrigeradores: <u>3</u>	
Equipos de Combustión. (Relacionar cada uno y su consumo)	1 motor de combustión interna y un Molino de Agua a viento	
Distancia de la red eléctrica (Km)	50 metros del patio de la granja	
Cantidad de horas al día donde se produce alto consumo de energía eléctrica (h)	Hay un consumo regular normal en el día y en las noches disminuye.	
Coordenadas georeferenciales de la granja.		
Poseen otra masa que no sea cerdos (Identificar y números de animales)	Gallinas: <u>200</u> Patos: <u>180</u>	Estas excretas se utilizan para hacer compost, no van a los sistemas de los biodigestores que están instalados los cerdos.

Otros datos	
-------------	--

Encuesta No.3

Granja: Granja Integral “La Agustina”⁷. **Provincia:** Artemisa. **Municipio:** Artemisa. **Consejo Popular:** Las Cañas. **Productor:** Orlando Martín Martínez.

Descripción del Sistema de Tratamiento actual: Posee un sistema de tratamiento de las naves porcinas que culminan en una tecnología con innovaciones en Cúpula Fija (Un tanque de aforo con un corte intermedio que sirve de tapa a la tecnología) con una capacidad de 35 metros cúbicos y con baja eficiencia en su proceso.

Indicadores	Un granja integral (Porcícola y frutales) tienen firmado un convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos y el restante con alimentación propia de la finca.
No. De Cerdos.	300
Clasificación	Reproductoras: _____ Pre ceba: _____ Ceba: _____ x _____
Peso promedio de la masa (Kg)	50-55 (Kg) como peso promedio.
Volumen de las excretas en la granja (Kg/día). “Volumen de Agua”	832 kg/día x 0,45 m ³ /día de H ₂ O
Tecnología del biodigestor	Tubular: _____ Cúpula fija: _____ x _____, Laguna tapada: _____ Otros: <u>Flujo pistón</u>
Capacidad del digestor (m ³)	35 m ³
Cantidad de biogás Producido (m ³ /día)	Aproximadamente 10 m ³ / día

⁷ Pertenece a la CCSF “Tomás Álvarez Breto”

Tipo de sistema de Medición de Gas	No posee													
Posee sistemas de Filtros u otros en la cadena del Biogás (Relacionar cada uno de ellos)	Filtro rustico con limalla de hierro.													
Utilización del biogás (m³)	Cocción: <u> </u> x almuerzo para 40 personas Equipos: <u> </u> Otros: <u> </u>													
Consumo eléctrico (promedio de consumo de los últimos 12 meses) Comprobante de la UNE	ene	feb	mar	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept	octubre	nov	dic	total	
(KWh)	1342	1313	1046	1132	949	1335	1419	1439	1283	1362	1886	1834	16341	
Equipos de Alto consumo eléctrico (+ 1KW) (Relacionar cada uno y su consumo)	Equipo 10			Pn (KW)		Hrs/día		Equipo 30			Pn (KW)		Hrs/día	
	Cuarto Neveras de 48 m³			3		24		Moto Bomba (Reg)			75 (125 A)		12	
	Aire Acondicionado			0,8		8		Moto Bomba (Reg)			120 (120 A)		12	
	Bomba Agua Sumergible			2,5		emergencia		Molino comida para cerdos			22		2 a 3	
	Bomba Agua			1		4		Mezcladora			10		2 a 3	
								Motor Guarapera (cerdos)			7		4	

Equipos de Combustión (Relacionar cada uno y su consumo)	No poseen equipos de combustión, solo maquinaria agrícola y transporte para el laboreo de la tierra.
Distancia de la red eléctrica (Km)	La red eléctrica pasa frente a la granja, hay un poblado a 500 metros del acceso principal.
Cantidad de horas al día donde se produce alto consumo de energía eléctrica (h)	El riego se enciende a las 7 am y se apaga a las 7pm, cuando llueve no se enciende.
Coordenadas georeferenciales de la granja.	
Poseen otra masa que no sea cerdos (Identificar y números de animales)	No poseen otra masa
Otros datos	Servicio 225 KVA 30, el pozo está a 25 m de profundidad (motores potentes) Pagan una tarifa de servicio trifásico entre 5000 – 6000 CUP equivalente a 250,00 USD

Encuesta No. 4

Granja: Finca “San Juan el Brujo”⁸

Provincia: Artemisa. **Municipio:** Artemisa. **Consejo Popular:** Las Cañas. **Productor:** Osmany Cordero Alfonso.

Descripción del Sistema de Tratamiento actual: Posee un sistema bien diseñado para la evacuación de residuales de toda la granja mediante la canalización soterrada de los residuales que los lleva hasta una cúpula fija con un capacidad de 43 metros cúbicos, donde utilizan el biol y el abono orgánico en su propia finca sobre todo en plantaciones de plátano y otro frutales.

Indicadores	Un granja integral (Porcícola y frutales) tienen firmado un convenio con el grupo porcino de la provincia, donde se le suministra el 70% de los alimentos y el restante con alimentación propia de la finca.
No. De Cerdos.	300
Clasificación	Reproductoras: ____ 18 ____ Pre ceba: ____ 180 ____ Ceba: ____ 100 ____
Peso promedio de la masa (Kg)	50 – 55 (Kg) como peso promedio.
Volumen de las excretas en la granja (Kg/día) “Volumen de Agua”	83 kg/ día x 0,45 m ³ /día de H ₂ O
Tecnología del biodigestor	Tubular: ____ Cúpula fija: ____ x ____, Laguna tapada: ____ Otros: <u>Flujo Pistón (híbrido)</u>
Capacidad del digestor (m ³)	42,75 m ³
Cantidad de biogás Producido (m ³ /día)	15 m ³ /día

⁸ Pertenece a la CCSF “Antero Regalado”

Tipo de sistema de Medición de Gas	No posee												
Posee sistemas de Filtros u otros en la cadena del Biogás (Relacionar cada uno de ellos)	No posee filtros												
Utilización del biogás (m³)	Cocción: <u> x </u> Equipos: <u> </u> Otros: <u> </u>												
Consumo eléctrico (promedio de consumo de los últimos 12 meses) Comprobante de la UNE	ene	feb	mar	abril	mayo	junio	julio	ago	sept	oct	nov	dic	total
(KWh)	1306	1278	1018	1102	924	1294	1381	1401	1249	1326	1422	1785	15491
Equipos de Alto consumo eléctrico (+ 1kW) (Relacionar cada uno y su consumo)	Equipo 10			PN (kw)		Hrs/Día		Equipo 30		PN (kw)		Hrs/Día	
	Nevera 110 V			1		24		Motobomba regadío 400V		90		12	
	Compresor 220 V			0,8		0,5		Motobomba regadío 400V		75		12	
								Motobomba regadío 400V		110		12	
								Tostadora de café 400 V		0,8		4	
								Motobomba de limpieza de la		7,5		2	

				granja 400V		
				Molino Vianda 400V	13,5	2
Equipos de Combustión (Relacionar cada uno y su consumo)	No poseen equipos de combustión, solo maquinaria agrícola y transporte para el laboreo de la tierra.					
Distancia de la red eléctrica (Km)	Posee la línea frente a la finca. Banco de transformadores (30) 300kva para bombeo de agua fundamentalmente.					
Cantidad de horas al día donde se produce alto consumo de energía eléctrica (h)	El regadío se enciende todo el día 12 horas diarias de 6am a 6 pm o de 7am a 7pm. Cuando llueve no se riega					
Coordenadas georeferenciales de la granja.						
Poseen otra masa que no sea cerdos (Identificar y números de animales)	No poseen otra masa animal					
Otros datos	<p>Tiene población cercana que puede consumir la energía excedente.</p> <p>Tiene pensado en crecer en un cuarto de refrigeración para la conservación de frutas 4-5 toneladas ref (15kw).</p> <p>Una de las motobombas es Siemens, el motor tiene más de 10 años de explotación y no se le ha dado mantenimiento, solo se le da mantenimiento a la bomba.</p> <p>Motores de gran potencia. Pozos a 60 m de profundidad.</p> <p>Pagan una tarifa d servicio trifásico de 5000 y 6000 pesos.</p>					

Encuesta No.5

Granja: Unida Empresarial de Base “Fran País”⁹. **Provincia:** Matanzas. **Municipio:** Martí. **Consejo Popular:** Batey Hoyos Colorado. **Productor:** Roberto Castro García¹⁰

Descripción del Sistema de Tratamiento actual: Posee un sistema único de residuales que conllevan a una tecnología de Laguna Tapada.

Indicadores	Una granja estatal, donde se le suministra el 100% de los alimentos para abastecer los pies de cría de la provincia, así como otra parte a la ceba.
No. De Cerdos.	4696
Clasificación	Reproductoras: <u>953</u> Pre ceba: <u>1800</u> Ceba: <u>1943</u>
Peso promedio de la masa (Kg)	36 (Kg) como peso promedio.
Volumen de las excretas en la granja (Kg/día) “Volumen de Agua”	166 388 kg 45,839 m ³ de agua residual
Tecnología del biodigestor	Tubular: _____ Cúpula fija: <u>x</u> , Laguna tapada: <u>x</u> Otros: _____ 30 m ³ para cocción 1800 m ³ para electricidad
Capacidad del digestor (m ³)	1800 m ³
Cantidad de biogás Producido (m ³ /día)	770 m ³

⁹ Granja Estatal

¹⁰ Director de la UEB

Tipo de sistema de Medición de Gas	Posee un sistema de medición incorporado en la cadena de suministro del gas para el uso final.					
Posee sistemas de Filtros u otros en la cadena del Biogás (Relacionar cada uno de ellos)	Se ha instalado un sistema de filtro industrial para la eliminación del sulfuro de hidrogeno y demás filtros intermedios para obtener un gas de calidad para su utilización en sistemas eléctricos.					
Utilización del biogás (m³)	Cocción: <u> x </u> Equipos: <u> x </u> Otros: <u> </u>					
Consumo eléctrico (promedio de consumo de los últimos 12 meses) Comprobante de la UNE	Oscila entre 9000 kW/mes, promediando 600,00 y 700,00 CUP x mes, por ser una empresa estatal se aplica la Metodología M-A Tarifa de Media Tensión con actividad cotidiana. Por cada kWh consumido en el horario del día se aplica la siguiente formula: (0,0241\$/kWh*Factor K+0,064\$/kWh*consumo día en kWh El factor K es de 4,2143					
(KWh)	Resultando que el promedio es del 610 cup en moneda nacional, tarifa aplicada para este sector estatal					
Equipos de Alto consumo eléctrico (+ 1kW) (Relacionar cada uno y su consumo)	Equipo	PN(KW)	Hrs / Día	Equipo	PN (KW)	Hrs / Día
	Aire acondicionados de 1 ton	3,5	3	Bomba agua limpieza (10)	0,5	4
	Aire acondicionados de 1 ton	3,5	3	Bomba agua limpieza (1)	30	10
	Aire acondicionados de 1 ton	3,5	3			
	Aire acondicionados de 1 ton	3,5	3			
Aire acondicionados de 1 ½ ton	5	3				

	Nevera	0,5	24			
	Caja de Agua	0,5	24	m		
	Refrigeradores (4)	0,5	24			
Equipos de Combustión (Relacionar cada uno y su consumo)se						
Distancia de la red eléctrica (Km)	20 metros, y a 1 Km Sub de 33/13 Kv Hoyo Colorado					
Cantidad de horas al día donde se produce alto consumo de energía eléctrica (h)	4 horas principalmente en el horario de la mañana Desde las 07:00 hasta las 09:00 para la limpieza de las naves conectan las 10 motobombas.					
Coordenadas georeferenciales de la granja.						
Poseen otra masa que no sea cerdos (Identificar y números de animales)	No poseen otra variedad de ganado menor, ni mayor.					
Otros datos	Perspectiva motobomba para riego 20 KW (autoconsumo) 10 hrs/día					

Anexo No 3 Listado del Equipo consultor y participantes en el proyecto

Equipo Consultor que participó en los tres visitas a las áreas previstas				
Nombres	Sitio Visitado en Pinar del Río Porcino "Convenio Juan Pontigo" y Finca Integral La Puerta del Sabino 10-11 de Mayo/2016	Sitio Visitado en Artemisa Fincas Integrales "La Agustina" y "El Brujo" (17- 18 de Mayo/2016)	Sitio Visitado en Villa Clara – Cienfuegos Unidad Empresarial Básica Frank País salida el día 7 de la Habana (8 y 9 de Junio/2016)	Representación
Joel Betancourt Alayón	-	Especialista del grupo de desarrollo de la UE	Especialista del grupo de desarrollo de la UE	Unión Eléctrica MINEN Organismo Central
Alberto Rodríguez Carrillo	Especialista Grupo de desarrollo de ER	Especialista Grupo de desarrollo de ER	-	Empresa de Proyectos de Ingeniería. Unión Eléctrica. MINEN
Gerardo Fernández Herrera	Especialista Grupo de desarrollo de ER	-	Especialista Grupo de desarrollo de ER	Empresa de Proyectos de Ingeniería. Unión Eléctrica. MINEN
Yasser M. Díaz	-	Director del Grupo Centro de promoción y desarrollo del Biogas	Director del Grupo Centro de promoción y desarrollo del Biogas	Instituto de Investigaciones Porcinas. MINAG
Tamara Cruz Silbeto	Especialista Centro de promoción y desarrollo del Biogas	Especialista Centro de promoción y desarrollo del Biogas	Especialista Centro de promoción y desarrollo del Biogas	Instituto de Investigaciones Porcinas. MINAG
Jose Luis de la Fuente Arzola	Especialista Centro de promoción y desarrollo del Biogas	-	Especialista Centro de promoción y desarrollo del Biogas	Instituto de Investigaciones Porcinas. MINAG
Yeney Martínez Pérez	Especialista	Especialista	Especialista	CUBAENERGIA

	Grupo Bionergia	Grupo Bionergia	Grupo Bionergia	
Wenceslao Carrera Doral	Especialista Grupo de tecnologías ante el CC	-	Especialista Grupo de tecnologías ante el CC	CUBAENERGIA
Enrique Landa Burgos	Especialista Grupo de tecnologías ante el CC	Especialista Grupo de tecnologías ante el CC	Especialista Grupo de tecnologías ante el CC	CUBAENERGIA
Ismenia Abreu Santovenia	Especialista Grupo de planificación energética	-	Especialista Grupo de planificación energética	CUBAENERGIA
Iván Relova Delgado	Coordinador del grupo de tecnologías ante el CC	Coordinador del grupo de tecnologías ante el CC	Coordinador del grupo de tecnologías ante el CC	CUBAENERGIA
Participantes que acompañaron al equipo consultor en los encuentros				
Orlando Martín Martín Orlando Martín Chirino	-	Propietarios	-	CCCS: Tomás Álvarez Brito Las Cañas
Osmany Cordero Alfonso	-	Propietario	-	CCCS: Antero Regalado, Artemisa
Maribel Machado González	-	Especialista de Calidad y Medio Ambiente de GRUPOR	-	Empresa Porcina de Artemisa
Roberto García.	-	Director de GRUPOR del municipio Artemisa	-	Empresa Porcina de Artemisa
Juan Pontigo Rodríguez	Propietario	-	-	Productor Independiente Guane
Manuel Leal Echevarría	Especialista de Medio Ambiente en GRUPOR PR	-	-	Empresa Porcina Pinar del Río

Robín Moreno Reyes	Especialista Municipal del CITMA-Guane	-	-	Delegación CITMA Pinar del Río Especialista Municipal Guane
Leonel Mayea Alvarez	Propietario	-	-	CCS Enrique Troncoso Los Palacios
Damaris Gallardo	Especialista Provincial de Regulación Ambiental del CITMA-Pinar del Río	-	-	Delegación CITMA Pinar del Río
Noel Brugueras Amaran	Delegado del CITMA en la provincia	-	-	Representante de la Ministra CITMA-Pinar del Río
Roberto Castro García	-	-	Director	Unidad Empresarial Básica Frank País
Raúl Damas	-	-	Especialista en temas energéticos y montaje de biodigestores	Empresa Mexicana