

Original

**POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD UTILIZANDO EL BIOGÁS PRODUCIDO
POR LAS EXCRETAS DE GANADO VACUNO Y PORCINO EN EL MUNICIPIO DE
MANZANILLO**

**Potential of electricity generation of using the biogas produced by bovine and porcine cattle's excrement in
the municipality of Manzanillo**

Ing. Raúl Arturo Jiménez-Rodríguez. Universidad de Granma, rjimenez@udg.co.cu, Cuba

Dr. C. Idalberto Macías-Socarrás. Universidad Estatal Península de Santa Elena,

imacias@upse.edu.ec, Ecuador

MSc. Pedro Andrés Núñez-Sánchez. Universidad de Granma, pnunezs@udg.co.cu, Cuba

Recibido:18/05/2017 –Aceptado: 10/06/2017

RESUMEN

La protección del medio ambiente y el progresivo consumo de recursos energéticos constituyen dos cuestiones significativas para el mundo actual así como para el futuro inmediato, es por ello que la búsqueda de fuentes energéticas renovables, resultan hoy un reto científico técnico que debe ser afrontado con urgencia. El presente trabajo hace un estudio conducente a determinar las potencialidades de generación de electricidad a partir de la producción de biogás generada de las excretas del ganado vacuno y porcino en el municipio de Manzanillo de la provincia de Granma. Primeramente se recolectaron los datos necesarios y se determinaron las potencialidades para la producción de biogás. Luego, se determinó la cantidad de electricidad capaz de generar ese biogás producido y, finalmente se calculó la cantidad de biofertilizante que se deriva del digerido, las emisiones de gases de efecto invernadero que se dejarían de producir por la generación de esta electricidad y la cantidad de petróleo que el país no consumiría con esta tecnología renovable. Como resultado del estudio se obtuvo que fue posible lograr un total de 9834,8 m³ diarios de biogás y de los subproductos de este proceso se podrían producir aproximadamente 184,37 m³ de bioabono líquido y 68,84 t de bioabono sólido, generar 59,01 MW·h/día de energía eléctrica y dejar de emitir a la atmósfera 45,14t de dióxido de carbono, 135,72 kg de dióxido de azufre y 70,81 kg de dióxido de nitrógeno lo que equivale a que diariamente se dejaran de consumir 18,74 tep.

Palabras claves: recursos energéticos, energía renovable, biogás, energía eléctrica.

ABSTRACT

The environmental protection and the progressive consumption of energy resources constitute two significant topics for the current world, likewise, for the immediate future, that is why, the searching of renewable energetic resources means a scientific and technical challenge that should be faced urgently nowadays. For these reasons, the present work makes a conductive study to determine the potentialities of power generation from the production of biogas generated from the excrement of the bovine and porcine cattle in the municipality of Manzanillo in Granma province. Firstly, the necessary data were gathered, and the potentialities for the production of biogas were determined. Later, the quantity of electricity able to generate that manufactured biogas was also determined, and finally, the quantity of biofertilizer derived from the digested, the emission of greenhouse gas that would not be produced due to the lack of generation of this power, and the amount of petroleum that the country would not consume with this renewable technology were calculated. As a result of the study it was stated that it was possible to get a total of 9834,8 m³ of biogas daily, and from the byproducts of this process at about 184,37 m³ of liquid biofertilizer and 68,84 t of solid biofertilizer could be produced, 59,01 MW·h/day of electric power can be generated, and to avoid emitting to the atmosphere 54,14 t of carbon dioxide, 135,72 kg of sulfur dioxide and 70,81 kg of nitrogen dioxide, what means that 18,74 tep were not consume daily.

Key words: energy resources, renewable energy, biogas, electric energy.

INTRODUCCIÓN

La masiva implementación de recursos energéticos es la tendencia actual para aumentar la eficiencia, disminuir el impacto ambiental, incrementar la fiabilidad del suministro energético y la independencia de fuentes externas (Solar, 2013).

Como consecuencia del progresivo encarecimiento de los recursos energéticos fósiles, que serán en un futuro próximo cada vez más escasos y de explotación más compleja, es necesario encontrar fuentes energéticas sustitutivas como las fuentes energéticas renovables (Juanes-González, 2007).

Las energías renovables van ocupando un lugar destacado en los sistemas energéticos de los países desarrollados y también en países en desarrollo, donde además de las ventajas medioambientales se benefician de una forma de energía descentralizada que permite hacer llegar la electricidad a puntos remotos y alejados de la red. Además, las energías renovables son una alternativa a los combustibles fósiles y reducen la dependencia energética de

combustibles como el petróleo y el gas que se importan de países, muchos de ellos, en regiones políticamente inestables (Cuesta, 2007).

Según la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), el aporte de las fuentes renovables durante 2015 en Cuba, representó el 4,91% del total de la producción de energía primaria del país. Como resultado del empleo de la energía cinética del agua funcionaron 150 unidades, que generaron de conjunto 48,3 GW·h.

El uso de la radiación solar para producir calor y energía eléctrica constituye una realidad que cada día se incrementa con la instalación de dispositivos fotovoltaicos en áreas rurales y montañosas del país, se encuentran en uso 6568 dispositivos solares, las provincias de Granma, La Habana, Las Tunas, Holguín, Guantánamo y Santiago de Cuba acumulan la mayor cantidad de estos dispositivos instalados y en uso, y empleados especialmente en los sectores de la educación y la salud pública.

Sobre el uso de la energía eólica, en el país existen 5957 dispositivos que la emplean, utilizados fundamentalmente en la extracción de agua para sustituir motobombas que consumen combustible diésel o electricidad. Se encuentran en funcionamiento tres parques eólicos, con 17 aerogeneradores, en los territorios de Ciego de Ávila, Holguín e Isla de la Juventud, conectados al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) desde inicios de 2008.

La producción de calor, electricidad, transformación de los desechos orgánicos en fertilizantes de alta calidad, así como el mejoramiento de las condiciones higiénicas por la reducción de organismos patógenos, son algunas de las potencialidades del biogás, una fuente alternativa para la obtención de energía que se impulsa en diversas naciones, entre estas Cuba. De acuerdo con lo publicado por la ONEI, en el año 2015 se reportó el uso de 580 digestores y 72 plantas de biogás instalados en el sector estatal, creciendo la energía sustituida por estos dispositivos en un 7,22%, comparado con el año 2014.

Como sustituto de combustibles fósiles como la gasolina o el diésel, el biogás es utilizado como combustible en generadores eléctricos que, dependiendo de la cantidad de biogás producido, pueden generar pequeñas y medianas potencias.

De ser posible generar estas cantidades de electricidad partiendo de la actividad ganadera, existe la posibilidad de reducir el uso de combustibles fósiles en la generación de energía y con esto contribuir a la reducción del impacto ambiental.

Partiendo de este criterio se definió como objetivo de este trabajo, realizar el estudio de las condiciones que se presentan en el municipio de Manzanillo para producir biogás útil a partir de las excretas del ganado vacuno y porcino con vista a generar energía eléctrica.

Fuentes energéticas y problema energético mundial

En la actualidad se está entrando en una nueva era energética que exige una actuación inmediata, cooperación global y perseverancia para alcanzar la sostenibilidad a todos los niveles. Cada vez preocupa más la capacidad de equilibrar el suministro y la demanda de energía. Según la tendencia actual, la demanda mundial de energía se incrementará en más del 40% para el 2030 y se prevé que el consumo mundial de petróleo crezca a un ritmo del 1,5% a un 2% anual, jugando un importante papel en este crecimiento la demanda de China e India. Mientras tanto, el clima del planeta se va calentando, con graves consecuencias a largo plazo a nivel medioambiental y económico (Unión-Europea, 2012).

Aunque normalmente la energía no se considera una necesidad básica para el ser humano, ésta es tenida en cuenta por muchos investigadores, legisladores, agencias de ayuda y organizaciones de la sociedad civil como un aspecto clave para poder alcanzar el desarrollo (UNDP, 2011). Existen numerosas experiencias que muestran que el acceso a la energía, en particular a la energía sostenible, está inseparable de un futuro sostenible, y ya son varios los estudios internacionales que ponen de manifiesto su contribución, tanto directa como indirecta, al alcance de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Modi *et al.*, 2015).

En este punto, las energías renovables y/o la eficiencia energética facilitan el acceso a todos los servicios, al tiempo que son una solución respetuosa con el medio ambiente. Éstas suponen una herramienta clave para mejorar la calidad de vida de las personas, reducir la pobreza y las desigualdades, aumentando la resiliencia contra el cambio climático y promoviendo un desarrollo sostenible (Sández, 2013).

Desde los años 90 hasta la actualidad, el papel que las energías renovables juegan en el suministro energético se ha ido matizando, adquiriendo cada vez una mayor importancia. Entre las causas de este aumento se encuentran, junto a las razones de tipo estrictamente económico, otras con un marcado carácter medioambiental, social y territorial (Domínguez, 2012). Así, desde el punto de vista económico, existe una gran preocupación a nivel mundial por la excesiva dependencia energética del petróleo, que se sitúa en torno al 50% (Nadeau *et al.*, 2013).

Esta situación se da también a escala nacional, ya que, a pesar del crecimiento relativo de las fuentes de energía renovables en los últimos años, más de la mitad de la energía primaria consumida en Cuba en 2015 procedió de este recurso fósil como muestra la figura 1 (ONEI, 2015).

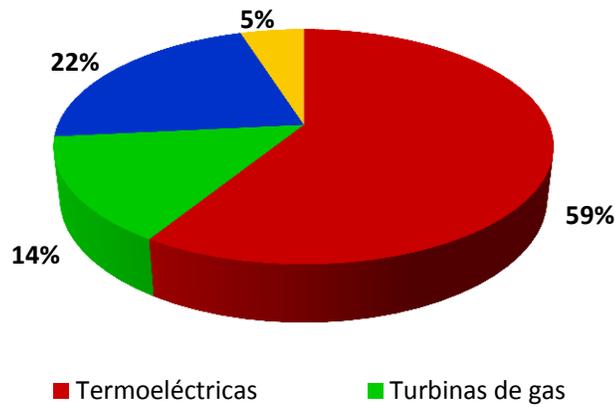


Figura 1. Consumo de energía primaria en Cuba en 2015 (ONEI, 2015)

El biogás como fuente de energía

La bioenergía es una amplia categoría de combustibles energéticos fabricados a partir de una variedad de materias primas de origen biológico y por numerosas tecnologías de conversión para generar calor, electricidad, biocombustibles líquidos y gaseosos. El término "biomasa tradicional" se refiere principalmente a la leña, al carbón vegetal y a los residuos agrícolas utilizados en los hogares para la cocción, la iluminación y calefacción en los países en desarrollo. En el área de los biocombustibles, los dos principales ejemplos Brasil y Estados Unidos demuestran las posibilidades del uso de biocombustibles en el transporte por carretera. En la actualidad, la cuota de participación de los biocarburantes para la movilidad está alrededor del 2% del total mundial y se espera que llegue a 5% en 2030. El biogás y la biomasa se utilizan tradicionalmente para la calefacción, pero como muestra la figura 2, recientemente han tenido lugar un notable incremento en su uso para la producción de electricidad en algunos países, en la medida en que las tecnologías de combustión se hacen más eficientes (Cuesta, 2007).

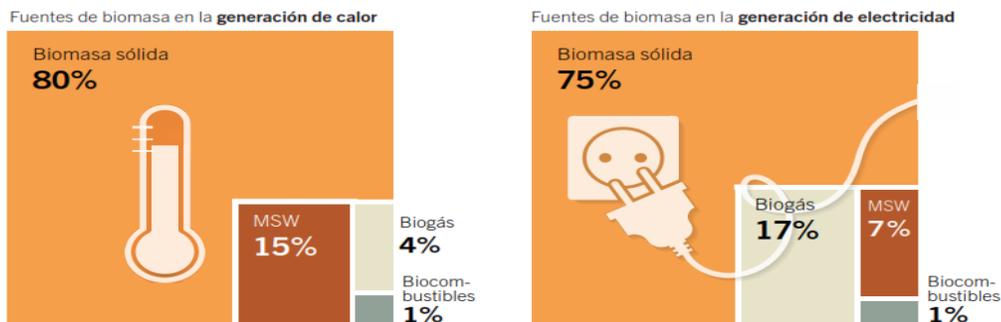


Figura 2. Participación de las fuentes de biomasa en la generación de calor y electricidad (REN21, 2015).

En 2014, la producción de bioenergía se mantuvo estable y tuvo un incremento del 1% durante el 2013. Las carteras de composición de bioenergía siguieron variando ampliamente según la

región, con un rango que iba desde la producción industrial a gran escala (por ejemplo, en Estados Unidos) hasta un número vasto de biodigestores a nivel residencial (por ejemplo, en China). La producción mundial de bioenergía incrementó aproximadamente 9%, con China, Brasil y Japón encabezando las incorporaciones de capacidad de generación, y con Estados Unidos y Alemania encabezando la generación (a pesar de sus incorporaciones de capacidad relativamente menores) (REN21, 2015).

Biogás es el nombre que se le ha dado a la mezcla de gases que se producen debido al proceso de descomposición de la materia orgánica procedente del estiércol. Al descomponerse los vegetales y residuos de cosechas y de la industria agroalimentaria, también se produce biogás. Y las aguas residuales de las viviendas que provienen de las letrinas o tazas sanitarias, conocidas como aguas negras, también permiten la producción de biogás. Este proceso ocurre en ausencia de oxígeno y se le conoce como digestión anaerobia (García *et al.*, 2012).

La mezcla a la que denominamos biogás se compone de entre 50 y 80% de metano (CH_4), de 20 a 40% de dióxido de carbono (CO_2), y de otros compuestos que aunque están presentes en menor cuantía son muy importantes, como el sulfuro de hidrogeno (H_2S) entre 1 y 3%, el cual resulta muy corrosivo y tóxico. Además el biogás contiene vapor de agua en pequeñas cantidades o trazas, al igual que otros gases de menor relevancia desde el punto de vista práctico. El biogás tiene un contenido energético promedio de $21 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$, que es muy parecido a los gases industriales que usamos para cocinar o con fines energéticos. Es combustible si su proporción de metano supera el 50%.

Hay que tener en cuenta que este es precisamente el criterio de calidad del biogás. Mientras más alto sea el contenido de metano, mejor combustible será, pero también significa que el contenido de CO_2 es menor y que el de sulfuro de hidrógeno también, ya que se trata de un proceso donde intervienen los microorganismos, principalmente bacterias, y que funciona mediante un equilibrio bioquímico (Martínez, 2015).

Aunque el uso popular del biogás comenzó por los países del Tercer Mundo, debido a la necesidad de obtener energía barata para la cocción de alimentos, hoy se emplea ampliamente en países desarrollados como Alemania, Suecia, Italia y otros, donde lo utilizan como una fuente renovable económica y capaz de disminuir las emisiones de dióxido de carbono. Esta amplia utilización del biogás, que avanza con el devenir de los años, está aparejada a incentivos gubernamentales como el precio preferencial de la energía eléctrica generada por esta vía (Rosa *et al.*, 2016).

Como un valor agregado en la producción de biogás se obtiene un fertilizante orgánico de alta calidad caracterizado por: la reducción de olores y emisiones contaminantes (NH_3 (amoníaco) y CH_4), estabilización de los efluentes y la reducción de la carga patógena.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el municipio de Manzanillo, en la actual provincia de Granma, es uno de los trece municipios que componen la provincia y uno de los de mayor importancia a nivel industrial. Según datos del Censo de Población y Viviendas de Cuba en 2012, el 81,66% del total de la masa humana habita en la zona urbana cuya dimensión alcanza los 8,2 km².

Producción de materia orgánica en el municipio de manzanillo

De acuerdo con datos proporcionados por la Oficina Nacional de Estadística e Información en el año 2015, el municipio Manzanillo cuenta con un aproximado de 22163 reses y 2354 cerdos (contando crías y adultos), lo que garantiza una producción estable de biogás.

En la tabla 1 y la tabla 2 se muestran de forma más detallada las poblaciones del ganado vacuno y porcino del municipio, respectivamente. Es necesario aclarar que para el caso del ganado vacuno se tienen en cuenta todas las cabezas existentes en el municipio, o, sea, tanto en el sector estatal como el privado, pero para el ganado porcino solo se contabilizan los existentes en el sector estatal.

Edades	Clasificación	Categoría	Cantidad
Menores de 1 año	Terneros	Terneros y terneras	4476
De 1 a 2 años	Pequeños	Añojos y añojas	2397
De 2 a 3 años	Medianos	Torettes y novillas	5063
Mayores de 3 años	Grandes	Vacas, toros, bueyes y sementales	10227
TOTAL			22163

Tabla 1. Existencia de ganado vacuno en el municipio de Manzanillo en el año 2014.

Edades	Clasificación	Categoría	Cantidad
Menores de 8 semanas	Pequeños	Crías y cerdos en preceba	1924
Entre 2 y 6 meses	Medianos	Cerdos en crecimiento y cerdos en ceba	117
Mayores de 6 meses	Grandes	Reproductoras, sementales y receladores	313
TOTAL			2354

Tabla 2. Existencia de ganado porcino en el municipio de Manzanillo en el año 2014.

A estos animales se les dan los cuidados necesarios para que cuenten con una buena salud y puedan desarrollarse de manera normal, se les da una buena alimentación de acuerdo con los planes de cada productor y los factores estacionales que pueden afectar la ganancia de peso.

La tabla 3 y la tabla 4 detallan la cantidad de excretas producidas por cabeza, la que varía dependiendo del tamaño, sin embargo, el tiempo de estación de los animales en el corral impacta directamente en la cantidad que se puede aprovechar de ellas. Para el ganado vacuno, el tiempo de estación es de doce horas por día aproximadamente, lo cual implica que solo 50% de las excretas se puede recuperar, mientras que, para el ganado porcino, el estadio es de 100% dando como resultado un eficaz método de recolección de excretas.

Clasificación	Producción de excreta (kg/día)
Terneros	4
Pequeños	8
Medianos	10
Grandes	15

Tabla 3. Producción promedio de estiércol de acuerdo con el tiempo de estación del ganado vacuno (Martínez-Collado, 2007).

Clasificación	Producción de excreta (kg/día)
Pequeños	1
Medianos	1,5
Grandes	2

Tabla 4. Producción promedio de estiércol de acuerdo al tiempo de estación del ganado porcino (Martínez-Collado, 2007).

Impacto ambiental y económico

Los impactos ambientales de los sistemas energéticos debido a la gran cantidad de procesos presentes en las actividades de captación, transformación y uso de la energía, tienen una significativa incidencia sobre el medio ambiente. También el agotamiento de los recursos no renovables provoca efectos adversos en el ecosistema. Limitándose a los procesos de producción energética, la generación de energía eléctrica a partir de fuentes fósiles emite a la atmósfera diversos compuestos contaminantes, entre ellos dióxido de azufre, óxido de nitrógeno y partículas, responsables de la acidificación del suelo y las aguas naturales, con repercusiones en la salud, las infraestructuras y los ecosistemas. (Campero-Rivero, 2012)

La utilización de la biomasa como combustible tiene unas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se consideran muy bajas o nulas, en el sentido de que el CO₂ emitido en la combustión ha sido absorbido previamente de la atmósfera (OCCC, 2011). Por lo tanto, cuando se analicen las tecnologías renovables de producción de energía es importante compararlas con las emisiones debidas a la utilización de combustibles fósiles (fuel, gas, carbón, etc.) para la generación de la misma cantidad de electricidad que con la biomasa analizada, lo que implica que permitirá estimar el ahorro de las emisiones de GEI.

Si estos valores se comparan con los que derivan de los impactos de las centrales convencionales (tablas 5), se obtienen diferencias significativas, claramente favorables a las tecnologías renovables (Fernández *et al.*, 2007). Según IDAE (1998), los resultados obtenidos en un estudio en el Reino Unido sobre impacto de centrales convencionales de carbón, fuel, gasoil y gas natural en el ciclo de vida completo, ponen de manifiesto que los valores de emisión unitaria asociadas son muy superiores que los que se obtienen con tecnologías renovables.

Instalaciones de Combustión	Emisiones (g/kW·h)			
	CO ₂	SO ₂	NO ₂	Partículas
Hulla	921	6,7	4	0,4
Lignito negro	937	21,7	4,1	0,5
Lignito pardo	1022	26,3	2	0,3
Carbón	851	3,5	2,2	0,2
Fuel/Gas	765	2,3	1,2	0,1
CCTG	350	0,007	1,2	0,02

Tabla 5. Emisiones procedentes de las Grandes Instalaciones de Combustión (Fernández *et al.*, 2007).

Además, con la finalidad de uniformar los datos y poder establecer comparaciones fácilmente se establece un término de referencia común para todos los tipos de energía. Por la importancia del petróleo dentro del sector energético, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) aconseja utilizar como unidad energética su capacidad para producir trabajo. Así, se define la tonelada equivalente de petróleo (tep) como la energía equivalente a la producida en la combustión de una tonelada de crudo de petróleo. Partiendo de esta definición, se utilizará la equivalencia para el biogás de generación eléctrica con el valor de 0,3176 tep/MW·h (IDAE, 2005).

Producción de biogás

El biogás se produce a través de un proceso de descomposición anaeróbico de los estiércoles, pasando por las siguientes fases: hidrólisis por bacterias fermentativas, acidogénesis y acetogénesis, para finalmente formarse el metano en la etapa de metanogénesis (Ahring, 1995; Martínez-Hernández y García-López, 2016). La producción de biogás obedecerá al tamaño y especie del animal sin tomar en cuenta una temperatura promedio anual ni la eficiencia de reacción anaerobia intrínseca del proceso de manera directa. El biogás estimado se obtuvo con los valores de las tablas 6 y 7, entre el estiércol producido por día de cada uno de los tamaños y especies estudiadas, afectado por el total de estiércol.

Clasificación	Producción de biogás (m ³ /día)
Terneros	0,16

Electricidad utilizando el biogás

Pequeños	0,32
Medianos	0,4
Grandes	0,6

Tabla 6. Producción promedio de biogás del ganado vacuno (Martínez-Collado, 2007)

Clasificación	Producción de biogás (m ³ /día)
Pequeños	0,07
Medianos	0,1
Grandes	0,14

Tabla 7. Producción promedio de biogás del ganado porcino (Martínez-Collado, 2007)

Debido al poder calorífico del biogás es posible su aprovechamiento mediante combustión, dependiendo de su captación, quemándolo y transformándolo en energía eléctrica mediante motores de combustión interna, sustituyendo a los combustibles tradicionales (Chamy y Vivanco, 2007). Por ello consideraremos las propiedades específicas del biogás que se indican en la tabla 8.

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6,0 – 6,5 kW·h/m ³
Equivalente de combustible	0,60 – 0,65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82,5°C
Densidad normal	1,2 kg/m ³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16,043 kg/kmol

Tabla 8. Características generales del biogás (Deublein y Steinhauser, 2008)

El lodo producido por la aplicación de los procesos anaerobios tiene propiedades de biofertilizante que resulta en ciertos casos más valioso desde el punto de vista económico que el biogás obtenido. Sirven como acondicionadores del suelo y es de muy significativa importancia en los suelos tropicales y subtropicales debido a la rápida degradación que experimentan las tierras cultivables bajo estas condiciones climáticas (Hashimoto y Ferment, 1982; McCarty, 1964; Montalvo y Guerrero, 2003). Debido a esto se tendrá en cuenta la cantidad de biofertilizante o bioabono posible a obtener. La cantidad de bioabono resultado de los procesos de digestión anaerobia se calculó con la ayuda de la tabla 9.

Tipo de residuo	Residuos húmedos (kg/día)	Bioabono líquido (l)	Bioabono sólido (kg/día)
Estiércol vacuno	10,0	8,0	3,0
Estiércol porcino	2,3	3,0	1,0

Estiércol equino	10,0	13,1	3,4
Estiércol ovino/caprino	2,0	2,6	0,7

Tabla 9. Productos derivados de la producción de biogás (Páez y Bas, 1999).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Al realizar el análisis de los datos recolectados en el municipio de Manzanillo, y procesar los mismos se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 10.

Tipo de ganado	Clasificación	Producción de excreta (kg/día)	Producción de biogás (m ³ /día)
Vacuno	Terneros	17904	716,16
	Pequeños	19176	767,04
	Medianos	50630	2025,2
	Grandes	153405	6136,2
	Subtotal	241115	9644,6
Porcino	Pequeños	1924	134,68
	Medianos	175,5	11,7
	Grandes	626	43,82
	Subtotal	2725,5	190,2
TOTAL GENERAL		243840,5	9834,8

Tabla 10. Potencialidades y producción estimada de biogás del ganado analizado.

Como apreciamos en la tabla anterior, de forma general, fue posible obtener un total de 9834,8 m³ diarios de biogás que pudieron contribuir al desarrollo local sostenible tanto para la cocción de alimentos como para la generación de energía eléctrica. Con esta tecnología se puede prevenir la contaminación del agua y el suelo, así como aprovechar de forma adecuada los productos finales del tratamiento de los residuales provenientes de la producción pecuaria.

Del biogás generado de la biomasa animal, el mayor porcentaje corresponde al de origen vacuno con un 98,88% quedando el porcino con un 1,12%; de forma similar es el comportamiento de producción de biogás con un 98,07% y un 1,93% respectivamente, estos datos se muestran en las figuras 3 y 4.

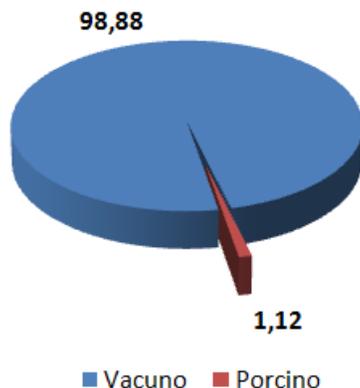


Figura 3. Porcentaje de biomasa generada por tipo

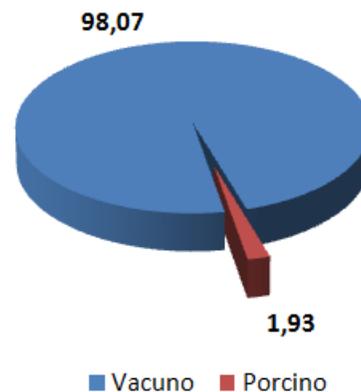


Figura 4. Porcentaje de biogás generado por tipo

de ganado

de ganado

Generación de electricidad a partir de biogás

A partir de la producción de biogás en el municipio de Manzanillo, por la descomposición de los excrementos del ganado vacuno y porcino se estima que se pudieron generar 59,01 MW·h/día de energía eléctrica en el año 2015, es decir 1770,26 MW·h mensuales.

Según el Anuario Estadístico de Cuba publicado por la ONEI, en el año 2015 el consumo de electricidad promedio mensual por cliente fue de 301,1 kW·h, de ello el sector residencial fue de 176,5 kW·h por lo que la energía eléctrica producida a partir del biogás generado por las excretas del ganado vacuno y porcino podría alimentar mensualmente, aproximadamente, a 10029 hogares. Es muy importante señalar que el ganado porcino que se contabilizó para este trabajo solo fue el correspondiente al sector estatal.

Producción estimada de bifertilizantes del digerido

Como resultado del proceso de digestión anaerobia, además del biogás, se obtiene un residual líquido y un lodo digerido, que son fuentes importante de materia orgánica estabilizada y nutrientes, pudiéndose emplear como biofertilizante (Lukehurst *et al.*, 2010). El valor fertilizante del digerido depende en su mayoría de la concentración de nutrientes del sustrato degradado, ya que durante el proceso de digestión no se introduce nada más en el reactor. Sin embargo, el digerido es el resultado de un proceso biológico, y por lo tanto tendrá características específicas de cada digestor e incluso de cada momento del proceso de digestión (Lukehurst *et al.*, 2010).

Por ello se determinó que a partir de los subproductos de la producción de biogás se podría haber generado en el año 2015 aproximadamente 184,37 m³ de bioabono líquido y 68,84 t de bioabono sólido. Señalamos que estos fertilizantes se pueden comercializar y contribuir a la economía del municipio.

Análisis del impacto ambiental y económico

Teniendo en cuenta que las emisiones de GEI producto a la generación de electricidad del potencial de biomasa ganadera calculado se pueden considerar nulas, calculamos la cantidades de GEI que se emitiría mediante la generación de la misma cantidad de electricidad pero a través de combustibles fósiles, en este caso fuel (ver tabla 11), y obtuvimos que se dejarían de emitir diariamente 45,14 t de dióxido de carbono, 135,72 kg de dióxido de azufre y 70,81 kg de dióxido de nitrógeno aportando importantes beneficios medioambientales.

Tipo de tecnologías	Biogás para generación eléctrica	Fuel
Emisiones (kg) CO ₂	0	45141,73

SO ₂	0	135,72
NO ₂	0	70,81

Tabla 11. Estimado de la emisiones según las tecnologías analizadas.

La energía eléctrica del biogás producido por los excrementos del ganado vacuno y porcino en el municipio de Manzanillo en el año 2015 equivale a 18,74 tep diarias, o sea, sería posible dejar de producir cada día la combustión de esa misma cantidad de toneladas de crudo de petróleo.

CONCLUSIONES

1. Se estima que se pudieron generar diariamente 9834,8 m³ de biogás a partir de la digestión anaerobia de los excrementos del ganado vacuno y porcino en el municipio de Manzanillo en el año 2015. Utilizando los subproductos de este proceso se podrían producir aproximadamente 184,37 m³ de bioabono líquido y 68,84 toneladas de bioabono sólido.
2. Utilizando el biogás obtenido se calcula que fue posible producir 59,01 MW·h/día de energía eléctrica que representa el consumo mensual promedio de 10029 hogares en el municipio.
3. Producto a la generación de electricidad de la biomasa analizada fue posible dejar de emitir a la atmósfera 45,14t de dióxido de carbono, 135,72 kg de dióxido de azufre y 70,81 kg de dióxido de nitrógeno. Esto equivale a que diariamente se dejaran de consumir 18,74 tep.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahring, B. K. (1995). Methanogenesis in thermophilic biogas reactors (Vol. 67, pp. 91-102): Antonie van Leeuwenhoek.
2. Campero-Rivero, O. (2012). *Monitorización y evaluación comparativa de la tecnología de biodigestión anaerobia como fuente de energía renovable en dos ámbitos familiar e industrial en Bolivia*. (Tesis Doctoral), Universidad de Huelva, España.
3. Cuesta, H. C. (2007). *Los costes externos en los modelos energéticos globales de optimización. Una herramienta para la sostenibilidad*. Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.
4. Chamy, R., y Vivanco, E. (2007). Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás (pp. 82). Santiago, Chile.
5. Deublein, D., y Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An Introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.

6. Domínguez, J. (2012). Los sistemas de información geográfica en la planificación e integración de energías renovables Ciemat (pp. 159). Madrid.
7. Fernández, M. J., Borjabad, E., Barro, R., Losada, J., Bados, R., Ramos, R., y Carrasco, J. E. (2007). Estudio sobre sinterización de las cenizas de biomásas en la combustión. Informe técnico correspondiente al periodo: 1 de enero de 2007 a 31 de diciembre de 2007. Parte 5ta del Proyecto Singular estratégico: Desarrollo, demostración y evaluación de la producción de energía en España a partir de la biomasa de cultivos energéticos” (PSE On Cultivos). España: CIEMAT.
8. García, G. d. J. G., Fernández, I. M., Montenegro, M. M. M., Fuentes, A. F., Cortés, J. d. J. B., y Moroyoqui, P. G. (2012). Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *Ide@s CONCYTEG*, 7(85), 881-894.
9. Hashimoto, S., y Ferment, J. (1982). *Effect of temperature and Sludge retention time on the anaerobic digestion of night soil*. Techn.
10. IDAE. (1998). Plan de fomento de energías renovables (pp. 95). Madrid: Instituto de Alternativas Energéticas.
11. IDAE. (2005). Plan de Energías Renovables, 2005-2010 (pp. 69): Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
12. Juanes-González, J. M. (2007). *El potencial energético útil, de las corrientes marinas en el estrecho de Gibraltar*. (Tesis de grado), Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales.
13. Lukehurst, C. T., Frost, P., y Al Seadi, T. (2010). Utilisation of digestates from biogas plants as biofertilizer (pp. 37): IEA Bioenergy.
14. Martínez-Collado, C. (2007). Volumen de biodigestores. *Energía y tú*(39).
15. Martínez-Hernández, C. M., y García-López, Y. (2016). Use of basic and specific pre-treatments for the biogas production. Revision and analysis. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(3), 81-92.