

EI BIOGAS.RESULTADOS Y POTENCIALIDADES COMO FUENTE DE ENERGÍA Y BIOABONO EN EL SECTOR COOPERATIVO Y CAMPESINO DE LA PROVINCIA DE MATANZAS.

Msc. José Venancio Sánchez Rodríguez¹, Msc. Anivys Pavón Hernández²

*1. Asociación Nacional de Agricultores Pequeños (ANAP)
Provincia , Matanzas, Cuba.*

*2. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca
Km.3, Matanzas, Cuba.*

Resumen.

El trabajo expone los resultados obtenidos a partir de la capacitación realizada a los campesinos en la construcción y explotación de diferentes prototipos de biodigestores propuestos en el folleto Introducción a la producción de Biogás, los cuales incluyen diferentes modificaciones tecnológicas a los diseños originales, con el fin de ahorrar materiales de construcción, superficie de terreno, contribuir a la impermeabilización de la cúpula de almacenamiento del biogás y sistema de extracción autónoma de lodos sedimentables. Hace referencia a la cantidad de estos instalados en el sector cooperativo y campesino (57), de los cuales 31 ya se encontraban construidos pero sus propietarios le introdujeron algunas de las modificaciones anteriores para mejorar su operatividad y funcionamiento. Se expone el volumen de carga contaminante que estos tratan, así como los beneficios del empleo de biogás obtenido como fuente de energía renovable.

Expone la equivalencia de esta producción con la cantidad de combustibles tradicionales necesarios para requerimientos energéticos similares a los que se resuelven con el empleo del biogás. Hace referencias al uso del biogás en el saneamiento de las jaulas de conejos y aves, en la conservación de granos y el uso de los lodos finales y el efluente líquido como bio abonos que suministran los nutrientes necesarios para el correcto desarrollo de los cultivos y su contribución al restablecimiento de la vida del suelo, destaca la superficie de suelo que se mejora con este tipo de fertilización.

Palabras claves: digestores de biogás; impacto; medio ambiente, bioabono.

Introducción

Entre los principales problemas que se presentan en las comunidades rurales de la provincia se encuentran; la escasez de combustible de uso doméstico para la cocción de alimentos, la inexistencia de infraestructuras para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, el incremento de la carga contaminante de origen animal que se vierte al medio, fundamentalmente a la atmósfera y a las aguas superficiales y subterráneas, y los relacionados con la deforestación y la pérdida de fertilidad de los suelos.

La incidencia de estos factores sobre la calidad de vida de la población y su negativa influencia sobre el entorno pueden ser disminuidas con la práctica de tecnologías dirigidas al uso racional de los recursos y la protección del Medio Ambiente, como las encaminadas a la reutilización de los residuales y desechos en general en la obtención de una fuente segura, eficiente y económica de energía como es el caso del biogás.

La obtención de biogás además de garantizar una fuente renovable y eficiente de energía para diferentes usos (cocción de alimentos para personas y animales, alumbrado, alimentación de motores de combustión interna, generación de corriente eléctrica, conservación de granos, etc) permite la producción de un abono orgánico de muy buenas características en cuanto al aporte de nutrientes al suelo, en su contribución al mejoramiento de sus características físicas y mecánicas, mejorando su textura, retención de humedad y aereación, así como por su contribución al restablecimiento de los macro y micro organismos beneficiosos del suelo.

El uso de los residuales sólidos de origen animal generados por los sistemas de cría de las cooperativas y la población rural en general contribuye a la disminución de la carga contaminante que se vierte al Medio Ambiente y al no tener los pobladores que dependen de la leña y el carbón como fuentes de energía repercute también en la preservación de la cobertura vegetal pues evita talar los árboles para ser utilizados como combustible.

Con el empleo de tecnologías que contribuyan a la disminución de la dependencia de los pobladores rurales de los bosques como única fuente para la obtención de combustible doméstico (carbón vegetal y leña), se mitigan los procesos erosivos del suelo vinculados a la deforestación por la tala de los árboles, acción que incrementa los efectos de la erosión hídrica y eólica, al eliminar la cobertura vegetal que lo protege (Sánchez, 2003). A través de la regulación del uso de los bosques se contribuye a evitar la compactación de los suelos; al encontrarse éstos protegidos por la vegetación se disminuye también la acidificación o pérdida de elementos que forman el complejo catiónico y se evitan los procesos de salinización.

Otro aspecto de gran importancia es la necesidad de realizar acciones encaminadas a la disminución progresiva de la carga contaminante que se vierte a las aguas dulces superficiales y subterráneas. Por este motivo es necesario emprender acciones encaminadas al uso ambientalmente seguro de todas aquellas sustancias que constituyen contaminantes para las aguas y que potencialmente pueden ser transformadas en otras inocuas para este medio y generar además algún uso socialmente útil en beneficio de las comunidades locales.

Contrariamente a lo que pueda suponerse, el agua es un recurso limitado, finito. Existe una cantidad relativamente fija en el planeta, que se estima en unos 1 400 millones de km³, pero la mayor parte de ella, 97,2% es agua salada, de muy escasa utilidad para el consumo humano. Hay 2,15% más que se encuentra en los glaciares y los casquetes de hielo que forman los polos. El resto, y no mucho, es agua dulce superficial y subterránea, pero la primera solamente representa unos 136 000 km³, menos del 0,7% de todas las aguas dulces, en los ríos, los lagos, el suelo, los pantanos, la atmósfera y los seres vivos. De hecho, el 99% de toda el agua existente en la tierra se encuentra congelada o en los océanos. (López, 2002).

Como el volumen de agua dulce no se puede aumentar y cada vez más personas dependen de ese suministro fijo, cada vez es mayor el volumen de agua dulce contaminado. El consumo mundial de agua dulce se multiplicó por seis entre 1900 y 1995, de manera que aumentó a una tasa mayor que el doble del crecimiento de la población, a razón de 100 millones de m³ por año desde 1940. (López, 2002).

De lo anteriormente expuesto se deduce que es una responsabilidad ciudadana la realización de acciones encaminadas a transformar todas aquellas sustancias contaminantes en otras menos agresivas y compatibles con el Medio Ambiente (Sánchez, 2003).

Desde que el hombre aprendió a emplear el fuego, la cocción de alimentos ha llegado a ser una de las actividades fundamentales para su subsistencia. Para esto se han utilizado diferentes combustibles, entre ellos la leña y el carbón vegetal. En respuesta a esta

situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la digestión anaerobia de la materia orgánica.

Según la literatura, fue en La India donde se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900; a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país alrededor de 200 000 unidades. China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, con aproximadamente 6,7 millones de biodigestores. (Lugones, 2003).

La producción porcina moderna, de carácter intensivo y concentrado territorialmente, genera cantidades importantes de estiércoles y purines que no se pueden utilizar de forma directa como fertilizantes en las zonas donde se generan.

En Cuba dadas las características de su base productiva, la aplicación de tecnologías para la producción de biogás ha estado dirigida fundamentalmente a residuales de ingenios azucareros y fábricas de derivados de la caña de azúcar (Pérez, 1985; Guillermo, 1985; Valdés, 1990; Fonte y Martínez, 1996; Pérez y Mazorra, 1996; y Fonte, 1997), de plantas procesadoras de café (Bermúdez, 1995 y Viñas, 1995) y de instalaciones pecuarias (Sánchez, 1994; IIP, 1998 y Lezcano y Pérez, 1999).

Desarrollo

El hombre para su normal desarrollo necesita de un suministro balanceado de sustancias nutritivas que se incorporan a través de su dieta. Para esto necesita que sus alimentos sean aportadores de carbohidratos, los cuales son la fuente directa de energía para su organismo, pero también necesitan de las proteínas para la formación de nuevos tejidos que van sustituyendo los que constantemente van envejeciendo, así como de vitaminas para catalizar la mayoría de los procesos de asimilación de diferentes nutrientes, las cuales se obtienen a través del consumo de frutas y vegetales frescos.

La satisfacción de estas necesidades vitales requiere de una producción constante y creciente de alimentos de diferentes composiciones, siendo uno de los más importantes las carnes y otras fuentes de suministro de proteínas. Para esto se ha desarrollado la ganadería, tanto la mayor como la menor. Este desarrollo lleva consigo el incremento de la cría de diferentes especies de animales de forma intensiva, lo cual se realiza fundamentalmente de forma estabulada generando grandes cantidades de desechos de alta carga orgánica que constituyen contaminantes ambientales, como es el caso de los estiércoles y los purines de la cría de cerdos.

El tratamiento ambientalmente seguro de estos residuales constituye una constante preocupación de las personas que se dedican a este trabajo.

Por otro lado el incremento marcado y ascendente de la población del planeta demanda cada día de una mayor cantidad de alimentos para satisfacer las necesidades nutritivas de esta. La situación es cada vez más alarmante, ya que debido al mal uso de los suelos estos han ido perdiendo de forma progresiva su fertilidad debido a la aplicación de prácticas agrícolas inadecuadas con un marcado carácter esquilante de los recursos del suelo y con

un creciente deterioro de la vida de los micro y macro organismos responsables de los procesos de transformación y reconversión de los nutrientes, lo cual se debe en gran medida al uso y abuso de los agroquímicos para el control de las plagas y enfermedades, así como por el empleo indiscriminado de los fertilizantes químicos.

Lo antes expuesto explica la disminución progresiva que ha ido experimentando el rendimiento de las producciones agrícolas debido al deterioro del suelo, el cual también se ve afectado por la creciente erosión a que se ve sometido a consecuencia de los procesos de deforestación y tala indiscriminada de los bosques, con lo que se elimina la protección natural de estos, tanto por la vegetación como por coberturas muertas formadas por los restos de los árboles y otros organismos que durante su proceso de descomposición, además de proteger el suelo, contribuyen a conservar su humedad y mantener la vida de toda la fauna edáfica, cuya función es primordial para mantener el necesario equilibrio que sustenta los procesos de reciclaje de la materia orgánica y mantiene la vida sobre el planeta.

El estado actual de la población humana en crecimiento progresivo, y con necesidades en constante incremento, demanda con urgencia la conservación de los ecosistemas naturales, lo que implica un uso sostenible de los mismos. Para ello es menester que este uso se corresponda con las verdaderas necesidades humanas de las presentes generaciones, como condición para salvaguardar la satisfacción de las futuras. (López, 2002).

Entre los problemas de la contaminación ambiental se encuentran; la contaminación de las aguas y la degradación de los suelos

Las acciones encaminadas a la preservación de la capacidad productiva de los recursos naturales están de acuerdo con lo legislado en la Ley 81 “Ley del Medio Ambiente”, en su artículo 132, incisos a, b, c, y f. Dicha Ley 81, en su artículo 125 plantea; “...en el aprovechamiento de los recursos energéticos por cualquier persona natural o jurídica se tenderá preferentemente, siempre que ello sea viable, a la utilización de fuentes renovables de energía y de equipos, tecnologías y medidas técnicas y organizativas que estimulen la conservación y el uso sostenible de la energía...”

Esta es la política seguida en el tema de la aplicación de la digestión anaerobia para el tratamiento de los residuales de la cría de animales domésticos estabulados con el fin de disminuir el volumen de contaminantes emitidos directamente al medio, incidir en la protección de la cobertura boscosa y en la obtención de combustible doméstico y bio abono, con lo cual también se mejora la calidad de vida de los miembros de la comunidad que participan directamente en el proyecto de montaje, explotación y mantenimiento de los biodigestores.

Biodigestores para la producción de biogás.

En cuanto a su capacidad pueden identificarse dos clasificaciones para las plantas de producción de biogás; Las instalaciones industriales (generalmente de segunda o tercera generación) y las de pequeña capacidad o mini digestores (de primera generación). En el presente trabajo se hace énfasis en las instalaciones de pequeña capacidad, pues son las que se ajustan a las condiciones del lugar y el biogás puede ser utilizado para solucionar el problema de la cocción de alimentos en los núcleos familiares contribuyendo a preservar el

Medio Ambiente y a la obtención de bio abonos para el mejoramiento de los suelos con el correspondiente incremento de los rendimientos.

Actualmente se conocen dos diseños tradicionales de biodigestores de pequeña capacidad (hasta 50 m³) de producción de biogás, en dependencia de su origen: de campana flotante (modelo hindú) y de cúpula fija (modelo Chino). Anexo1.

El biodigestor hindú se distingue por el uso de una campana móvil, que asciende al aumentar la presión del gas, esta puede ser de metal, hormigón, ferro cemento, ferro bambú o plástico. Además el biodigestor está compuesto por un tanque de almacenamiento en forma cilíndrica, que puede ser construido de piedra, ladrillos y hormigón. Para permitir la entrada de la materia orgánica y la salida del bio abono se emplean dos tubos (de plástico, fibrocemento, cerámica u otros) que conectan el tanque de almacenamiento con el de carga y descarga; También cuenta con tuberías, válvulas de corte y seguridad que garantizan el buen funcionamiento del biodigestor (Lugones, 2003).

El diseño del tipo chino utiliza para el almacenamiento de biogás una cúpula fija unida al tanque de almacenamiento, que puede ser de ladrillo o de elementos prefabricados de hormigón. Estas instalaciones tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

Estos sistemas poseen como desventaja el alto costo de la inversión inicial; por ejemplo una instalación de 5 m³, tiene una inversión inicial de \$700 a \$900 USD, lo que ha impedido su generalización en América Latina (Lugones, 2003).

En la actualidad se han probado nuevos diseños que han logrado disminuir considerablemente los costos iniciales de los biodigestores. Una de estas instalaciones son las plantas de biogás hechas de polietileno. Este sistema puede tener distintas configuraciones; alargado, en forma de gusano o en forma de saco, y es de fácil instalación. Los componentes fundamentales de este biodigestor son: un bolso de polietileno de película delgada capaz de soportar las presiones normales de trabajo del biogás y donde se almacena la excreta mezclada con agua; siempre se debe dejar el volumen necesario para almacenar el biogás; con el fin de lograr el buen funcionamiento de la instalación son necesarios otros accesorios como: válvulas de corte, de seguridad, tuberías y adaptadores.

Otro tipo de biodigestor para la producción de biogás en la que se ha logrado disminuir los costos hasta un 30 % con respecto a los prototipos tradicionales es la que se caracteriza por tener una estructura semiesférica de polietileno de película delgada en sustitución de la campana móvil del modelo hindú o de la cúpula fija del modelo chino, y un tanque de almacenamiento de piedra y ladrillos como los empleados en los prototipos tradicionales. Este tipo de instalación posee a su favor que resulta más económica que los sistemas tradicionales; por ejemplo una instalación de 4 m³ puede costar, aproximadamente, \$550 USD, y la estructura de polietileno flexible puede llegar a alcanzar hasta 10 años de vida útil, si no sufre ningún daño mecánico por manejo inapropiado o por otros factores externos como la incidencia directa de las radiaciones solares.

Uso de los biodigestores para el tratamiento de los residuales y la generación de biogás y bio abono en el sector cooperativo y campesino.

Los campesinos cubanos se encuentran organizados desde el punto de vista productivo y social en dos formas básicas; las cooperativas de producción agropecuarias (CPA), en las cuales la propiedad es colectiva y se organiza la producción y los servicios acorde a lo que se decida en la junta directiva de la cooperativa, respondiendo a intereses de desarrollo comunes y las cooperativas de créditos y servicios (CCS), en las cuales cada campesino es dueño de su finca de forma independiente y se agrupan para establecer las prioridades en la producción, contando estas cuando se encuentran fortalecidas con una estructura administrativa profesional que se encarga de las gestiones comunes a todos los campesinos.

En ambas formas de asociación prima la satisfacción de los intereses propios del campesinado y su objetivo fundamental es la producción de alimentos.

Atendiendo a la necesidad de producir de la forma más sostenible posible y partiendo de la necesidad del aprovechamiento económico de todo aquello que pueda representar un beneficio para la colectividad y para el entorno, así como de la inminencia de buscar alternativas para la recuperación de los degradados suelos con los que tienen que producir, es que se toma conciencia por parte de los campesinos de la conveniencia del uso de los biodigestores como una fuente de obtención de energía renovable para usos domésticos y otros propios del trabajo en las condiciones de la producción rural, así como para la producción de abonos orgánicos que permitan restituir los nutrientes que se han ido agotando en el suelo con el laboreo intensivo a que estos se encuentran sometidos, así como de la necesidad de que estos abonos también contribuyan a restituir la vida del suelo y permitan el desarrollo de los procesos de transformación y recirculación de materia en el ciclo de desarrollo de los cultivos.

Con el empleo de los biodigestores los campesinos han aprendido a transformar los residuales de la cría de animales estabulados (estiércol) de una fuente de contaminación ambiental considerable en una solución a varios problemas de importancia capital para el correcto desempeño de su labor, ya que a través del proceso de digestión anaerobia el estiércol se transforma en biogás que puede ser utilizado para la cocción de los alimentos en el hogar, así como de la comida de los animales, para alimentar un motor de combustión interna con el que se puede accionar un molino o una bomba de agua para el regadío o el suministro a los animales o mover un generador de electricidad. Este biogás también puede ser utilizado para la conservación de granos en recipientes cerrados como tanques de 55 galones o silos metálicos, ya que al ser suministrado este dentro del recipiente se crea una atmósfera anaeróbica en la cual no sobreviven los micro y macro organismos que deterioran los granos. También puede ser utilizado para flamear las jaulas donde se crían los conejos y de esta forma eliminar enfermedades como la sarna y otras.

Los lodos producidos como resultado de la digestión anaeróbica dentro del biodigestor, así como los efluentes líquidos del proceso, constituyen excelentes abonos orgánicos que aportan macro elementos importantes para el desarrollo de las plantas, pero unido a estos también aportan cantidades significativas de micro elementos que son tan importantes como los primeros para que la planta se desarrolle adecuadamente, pues estos desempeñan en las plantas una función similar a la que desempeñan en los animales las vitaminas, ayudando a fijar aquellas sustancias que son de vital importancia para correcto desarrollo.

Otro aspecto de singular importancia en el empleo de los lodos finales y los efluentes líquidos del proceso de digestión anaeróbica durante la producción de biogás es el aporte que estos hacen al restablecimiento de la vida de la micro y macro fauna edáfica, que es la encargada de la realización de los procesos de transformación y asimilación de los nutrientes que las plantas necesitan. Precisamente la pérdida de la vida en el suelo es uno de los principales problemas que presentan los suelos altamente degradados. Esta se origina por diversas causas, entre las que se puede destacar el uso excesivo de productos químicos, los cuales terminan por eliminar la vida del suelo, salinizarlo y alterar su estructura químico-física.

Tabla. 1: Distribución de biodigestores por municipios en el SCC.

| Municipio | Total de biodigestores. |
|-------------------|--------------------------------|
| Cárdenas. | 18 |
| Pedro Betancourt. | 5 |
| Jovellanos. | 13 |
| Los Arabos. | 1 |
| Colón. | 0 |
| Limonar. | 5 |
| Martí. | 0 |
| Jagüey Grande. | 2 |
| Unión de Reyes. | 8 |
| Perico. | 1 |
| Matanzas | 4 |

| | |
|--------|----|
| Total. | 57 |
|--------|----|

Como puede observarse aún el número de biodigestores en el Sector Cooperativo y Campesino (SCC) es bajo dadas las potencialidades que este posee, no obstante los resultados que se han ido obteniendo por parte de aquellos que explotan el uso de estos sistemas para generar biogás con el fin de emplearlo para satisfacer las necesidades de energía para la cocción de los alimentos, tanto para las personas como para los animales, así como con otros fines como los ya expuestos han contribuido a la creación de las bases para el incremento sostenido de esta tecnología limpia entre la población rural y la sub urbana.

Otro aspecto que ha incidido de forma satisfactoria en la toma de conciencia sobre las ventajas del empleo de los biodigestores es el incremento de los rendimientos de los cultivos que se fertirriegan con el lodo y los efluentes líquidos, ya que han podido apreciar que estos experimentan un aumento superior al 25% en todos los cultivos en los que se han empleado.

Este resultado alcanza incluso la producción de cultivos tan sensibles como la fruta bomba, la cual requiere en condiciones normales del empleo de una gran cantidad de agroquímicos para contrarrestar las plagas y enfermedades que la atacan. Se ha logrado la producción de una hectárea de fruta bomba desde la siembra de las posturas, hasta la cosecha sin emplear un solo gramo de producto químico, solo con el fertirriego con lodo de biogás. Este resultado se obtuvo en la finca del campesino Omar González, perteneciente a la CCS Rodobaldo López, del municipio de Cárdenas, en la localidad de Cantel, lo cual pudo ser apreciado por los participantes en el taller de Agroecología del tercer paso de la aplicación de la metodología de promoción agroecológica de campesino a campesino, desarrollada en la finca del propietario de la citada plantación.

También los resultados obtenidos en las plantaciones de plátano han rebasado el incremento del 25% de los rendimientos tradicionales, lográndose producciones por hectárea que han alcanzado el 50% de incremento de la productividad. En la finca del campesino Omar González puede apreciarse la presencia de un platanar de la variedad macho $\frac{3}{4}$ con una antigüedad de 6 años, que continúa produciendo con una gran vitalidad y con racimos de un tamaño superior a los que se producen con el uso de las técnicas tradicionales.

Se han obtenido resultados satisfactorios con el empleo de este tipo de bio fertilizante en los cultivos de soya, frijón, sorgo y en hortalizas, fundamentalmente las que no se comen crudas.

Cuando se promueve la tierra que ha sido fertilizada con el lodo o el efluente líquido del biodigestor se puede apreciar la presencia de múltiples variedades de micro y macro organismos, lo que se aprecia por la coloración que se observa en la tierra. Esta es la manifestación del restablecimiento de la micro y macro fauna edáfica y a su desarrollo se debe el restablecimiento de la fertilidad de estos suelos.

Por tanto podemos plantear que el beneficio de este tipo de fertilización no se encuentra solo en el aporte que se le realiza al suelo de los macro y micro elementos que se le van agotando con el desarrollo de las sucesivas cosechas, sino también al restablecimiento de la vida en el suelo a través del aporte de microorganismos benéficos provenientes del proceso de digestión anaerobia que se produce dentro del biodigestor.

REPERCUSIÓN DEL USO DE LOS BIODIGESTORES EN EL SCC DE LA PROVINCIA DE MATANZAS.

Si se parte de que en un biodigestor de cúpula fija, modelo chino, por cada metro cúbico de volumen del mismo se generan entre 0,75 y 1,3 metros cúbicos de biogás, y considerando todos los biodigestores de 14 m³ (Volumen promedio de todos los biodigestores existentes en el SCC), entonces es posible plantear que en dependencia de la eficiencia del funcionamiento de estos 57 biodigestores se obtendrá:

- Entre 546 y 946.4 m³ de biogás por día, lo que equivale en términos de energía a:
- Entre 388.7 y 674.31 litros de petróleo.
- Entre 370.76 y 643.18 litros de keroseno.
- Entre 657.8 y 1141.14 litros de alcohol.
- Entre 478.4 y 829.92 litros de gasolina.
- Entre 371.07 y 643.18 litros de gas natural.
- Entre 741.52 y 1286.37 kg de carbón vegetal.
- Entre 2093 y 3630.9 kg de leña.
- Entre 218 452.5 y 378 651 m³ de biogás por año, lo que equivale en términos de energía a:
- Entre 141 993.88 y 246 123.15 litros de petróleo.
- Entre 135 440.55 y 234 763.62 litros de keroseno.
- Entre 240 297.75 y 416 516.1 litros de alcohol.
- Entre 174 762 y 302 920.8 litros de gasolina.
- Entre 135 440.55 y 234 763.62 litros de gas natural.
- Entre 270 881.1 y 469 527.24 kg de carbón vegetal.
- Entre 764 583.75 y 1 325 278.5kg de leña.

Desde el punto de vista de la repercusión ambiental del funcionamiento de estos 57 biodigestores, si continuamos considerándolos todos de un volumen de 14 m³, al cabo de un año de funcionamiento obtendremos:

- El tratamiento de 3 650.85 TM de carga contaminante.
- La producción de 3 650.85 TM de lodos finales (bioabono).
- La disposición de entre 3 650.85 y 10 952.55 m³ de efluente líquido para el fertirriego.
- Se habrá salvado el equivalente a 32.5 ha de bosques de la deforestación.
- Se habrá dejado de quemar el equivalente a 8 225.67 m³ de madera para hacer carbón vegetal.

Si se considera que en el tema de la deforestación el PNUD valora en \$25.00 USD el metro cúbico de madera dejado de talar, entonces se habrán ahorrado \$205641.75 USD con el funcionamiento de los 57 biodigestores del SCC en la provincia.

Se habrá producido la energía equivalente a 11 571 sacos de carbón vegetal.

De acuerdo a la norma de aplicación de humus de lombriz (4 a 8 TM/ha) y de materia orgánica (10 TM/ha) para cultivos varios y considerando que el lodo de biogás posee características similares a la del humus de lombriz desde el punto de vista de su capacidad para restituir las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo, podemos entonces plantear que con el lodo generado por el funcionamiento de los 57 biodigestores en explotación en el SCC de la provincia se pueden fertilizar 608.47 ha de cultivos varios, con lo que se logra elevar en más del 25% los rendimientos de los cultivos que en las mismas se cosechen, usando como norma de aplicación 6 TM/ha.

Las potencialidades para la producción de biogás y bio abono a partir del uso económico de los residuales de la cría de animales en cautiverio es realmente alta. Si partimos de la existencia de los convenios porcinos en la provincia obtenemos los siguientes resultados:

Tabla. 2: Cantidad de convenios porcinos en el SCC y su aporte diario de contaminantes.

| | Cantidad de conv. | Pre ceba | | | Reproductoras. | | | |
|------------|-------------------|----------|--------|---------|----------------|---------|---------|----------|
| | | Conv | Cerdos | Est/día | Conv | Puercas | Est/día | Cerditos |
| CCS | 953 | 183 | 10822 | 24349.5 | 770 | 1460 | 3285 | 13140 |

| | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|-------|---------|-----|------|---------|------|
| CPA | 31 | 15 | 855 | 1923.7 | 16 | 35 | 78.75 | 315 |
| Sub-total | 984 | 198 | 11677 | 26273.2 | 786 | 1495 | 3363.75 | 3455 |

Tabla. 3: Volumen de biogás que se puede generar por día a partir de los convenios porcinos y carga contaminante que se puede tratar.

| | Pre ceba. | | Reproductoras (solas). | |
|----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | Volumen de biogás (m3) | Carga contaminante (TM) | Volumen de biogás (m3) | Carga contaminante (TM) |
| CCS | 1093.022 | 48.7 | 147.5 | 6.6 |
| CPA | 86.35 | 3.8 | 3.5 | 0.2 |
| Total | 1179.37 | 52.5 | 151 | 6.8 |
| Total General | 1330.37 m3 de biogás. | | 59.3 TM de carga contaminante | |

Tabla: 4: Volumen de biogás que se puede generar por año y su equivalencia en diesel, a partir de los residuales de los convenios porcinos.

| | Pre ceba. | | Reproductoras (solas) | |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| | Volumen de biogás (m3) | Equivalencia en diesel (L) | Volumen de biogás (m3) | Equivalencia en diesel (L) |
| CCS | 398953.03 | 259319.46 | 53822.9 | 34984.88 |
| CPA | 31519.57 | 20487.72 | 1290.27 | 838.67 |

| | | | | |
|--|------------------------|-----------|----------------------------|----------|
| Total | 430472.6 | 279807.20 | 55113.17 | 35823.55 |
| Total General | 485585.77 m3 de biogás | | 315630.75 litros de diesel | |
| Costo del equivalente en diesel a 0.50 CUC/L | | | \$157815.37 CUC | |

Tabla. 5: Cantidad de lodo de biodigestores que se puede generar por año y superficie de suelo a mejorar con el empleo de estos residuales.

| | Lodo generado (TM) | Superficie de suelo a tratar (ha) |
|-------|---------------------------|--|
| CCS | 20 184.5 | 3 364.0 |
| CPA | 1 460.0 | 243.3 |
| Total | 21 644.5 | 3 607.3 |

Conclusiones

La cría de animales estabulados genera una gran cantidad de residuales que constituyen contaminantes de alta carga orgánica, cuya disposición directa al medio ambiente provoca la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales y genera también una contaminación atmosférica de consideración por la emisión de gases de una fuerte incidencia en el efecto invernadero, como es el caso del metano cuyo efecto es 21 veces superior al del dióxido de carbono. Con el empleo de los biodigestores pueden ser aprovechados económicamente estos residuales para la obtención de biogás, el cual es una fuente renovable de energía y producir a partir de los lodos finales y el efluente líquido del proceso un bio abono de mucho valor para restaurar los nutrientes y restablecer la vida del suelo, con lo que se logra un incremento superior al 25% en los rendimientos de los cultivos cuyo suelo ha sido tratado con este. Por tanto es preciso Capacitar a los tomadores de decisiones y trabajadores vinculados con la cría de animales estabulados en las ventajas del uso de los biodigestores. Utilizar los biodigestores como sistema para el tratamiento de los residuales de alta carga generados por la cría de animales estabulados. Aprovechar los residuales de alta carga orgánica de la cría de animales estabulados para la producción de biogás y bio abonos. Emplear los lodos finales y el efluente líquido de los biodigestores en la fertilización y recuperación de los suelos.

Bibliografía

- Bermudez, R. C. (1995): Aprovechamiento biotecnológico de residuos por Fermentación anaerobia en la obtención de biogás y otros metabolitos. Curso de postgrado. ESPOCH. Riomamba. Ecuador.
- Fonte, A., Martínez, N. & Montalvo, S. (1997): Digestión Anaeróbica de Efluentes Generados en Plantas Procesadoras de cera de caña. Resúmenes. 47 Congreso ATAC, La habana. Cuba. Pág. 99.
- Frostell, B. (1988): Process control in anaerobic treatment. Water Science Technology. Vol. 17. Tampere. p. 173 – 189.
- Guillermo, A. (1985): Biogás del tratamiento de residuos azucareros en un reactor horizontal. Revista Cuba – Azúcar. p. 13.
- IIP (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PORCINAS). (1998): Procedimiento Biotecnológico para la depuración de residuales porcinos y la conservación de alimentos para cerdos. Informe Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana. Cuba.
- Lezcano, P. & Pérez, J. L. (1999): Tecnología para la producción de biogás, alimento animal y biofertilizantes a partir de la digestión anaerobia de residuales con alto efecto contaminante. Memorias. La Educación Superior Cubana: Oportunidades de Cooperación Internacional. La Habana. Cuba.
- Lin, C. Y. *et al.* (1985): Temperature Characteristics of the methanogenesis process in anaerobic digestion. Water Science Technology. Vol. 19. p. 299 - 310.
- López, C. *et al.* (2002): Introducción al conocimiento del Medio Ambiente. Universidad para todos. p. 3 – 31.
- Lugones, B. (2003): Análisis de biodigestores. Revista Energía y Tú. No. 22, abril-junio 2003., p. 12 -15.
- Pérez, J. L., RODRÍGUEZ, L., QUINTERO, F.& REYES, F. (1985): Aprovechamiento de residuales como fuente de energía en una planta destiladora de alcohol etílico. Resúmenes IX Seminario Científico del Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana. p. 52.
- Pérez, J. L. & MAZORRA, N. (1996): Biogás a partir de residuales de la Industria azucarera y destilerías de alcohol. Memorias II Taller Nacional de obtención de alimento animal por vía Biotecnológica y Sostenible. Ciego de Ávila. Cuba., p.13.

- Pérez, J. L., BERMÚDEZ, R. C., LEZCANO, P. Y RABELO, D. (2000): Tecnologías de digestión anaerobia para el tratamiento de residuales. Revista Cubana de Ciencias Agrícolas. Tomo 34, No. 2. p. 93 – 102.
- Sahm, H. (1998): Anaerobic wastewater treatment. Seminario de Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales. La Habana.
- Sánchez, E., WEILAND, P. TRAVIESO, L. (1994): effect of the organic volumetric rate on soluble COD removal on down – flow anaerobic fixed – bed reactors. Bioresource tech. 47:173.
- Sánchez, J. V. (2003): Producción de biogás a partir de residuales sólidos de origen animal en comunidades locales de La Ciénaga de Zapata. Ponencia presentada en el Evento Internacional “Humedales 2003”. Matanzas, Cuba.
- Sánchez, J. V. (2003): Biodigestores anaerobios de pequeño formato en comunidades locales de La Ciénaga de Zapata. Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Máster en Ciencias en Gestión y Conservación de los Recursos Naturales. Universidad de Matanzas, Cuba.
- Sánchez, J. V. (2005): Introducción a la producción de biogás. Centro Cristiano de Reflexión y Diálogo, co auspiciado por la Universidad Politécnica de Madrid. Cárdenas. Cuba. 78 pág.
- Santieteban, C. M. (1993): Los residuales como fuente de energía y Biofertilizantes en complejos agroindustriales y plantas de derivados. Informe técnico. Instituto Cubano Investigaciones Derivados de la Caña de azúcar. La Habana. Cuba. p. 10.